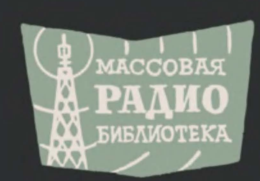


Я. А. МАЗО

Магнитная лента



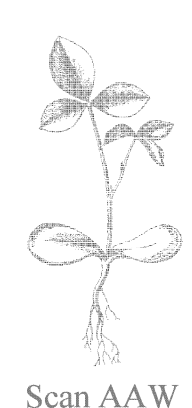
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 648

Я. А. МАЗО

МАГНИТНАЯ ЛЕНТА





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

УДК 681.84.083.84
М12

Описаны устройство и способы изготовления магнитной ленты. Рассмотрены ее магнитные, электроакустические и физико-механические свойства и изложены методы их измерений. Приведены основные данные об отечественных и зарубежных лентах. Даны рекомендации по выбору оптимальных режимов записи и стирания, уменьшению уровня копирэффекта и по хранению магнитных лент и магнитофильмов.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и специалистов, занимающихся магнитной звукозаписью.

Мазо Яков Абрамович

Магнитная лента

3-4-5
326-67

Редактор *В. Г. Корольков*

Техн. редактор *В. В. Зеркаленкова*

Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 28/I 1967 г. Подписано к печати 6/VI 1967 г. Т-06967
Формат 84×108[1]/[32]. Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 4,2. Уч.-изд. л. 5,38
Тираж 40.000 экз. Цена 22 коп. Заказ № 182.

Издательство „Энергия“. Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несмотря на широкое использование магнитных лент в профессиональной и любительской звукозаписи, вопрос об их устройстве, свойствах и применении до сих пор не нашел отражения в отечественной технической литературе.

Цель этой книги — хотя бы частично восполнить имеющийся пробел. В ней рассматривается только наиболее распространенная (шириной 6,25 *мм*) магнитная лента, однако многие сведения относятся в равной мере и к более широким лентам.

С целью облегчения понимания изложенного материала часть книги посвящена краткому изложению некоторых вопросов теории ферромагнетизма и процесса записи с высокочастотным подмагничиванием.

УСТРОЙСТВО И СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛЕНТ

Магнитная система записи информации широко применяется в различных областях науки, техники, культуры и особенно широко — в профессиональной и любительской звукозаписи.

Успехи магнитной записи в значительной мере объясняются непрерывным совершенствованием носителей записи. В первых аппаратах магнитной записи в качестве носителей использовались стальные ленты и проволоки; в дальнейшем были предложены и другие виды носителей. Носители магнитной записи могут различаться по назначению, форме, устройству, материалу основы и рабочего слоя, способу нанесения рабочего слоя и другим признакам.

Наибольшее распространение получили сплошные металлические ленты и проволоки из нержавеющей стали, биметаллические ленты, диски и барабаны, имеющие ферромагнитное металлическое покрытие, ленты, диски и листы с пластмассовой основой и порошковым рабочим слоем.

Выдающееся значение в развитии магнитной записи имело изобретение порошковой магнитной ленты. Первое предложение об изготовлении магнитной ленты путем нанесения на целлулоидную основу рабочего слоя из магнитного порошка было сделано И. И. Крейчманом (СССР) в 1925 г. В 1928 г. Ф. Пфлоймер (Германия) также предложил изготовлять магнитные ленты путем нанесения рабочего слоя из намагничивающегося вещества на гибкую основу из бумаги, целлулоида и других материалов.

В 1935 г. на Германской радиотехнической выставке демонстрировался новый звукозаписывающий аппарат — магнитофон, в котором в качестве носителя записи использовалась порошковая магнитная лента, а с 1937 г. германское радиовещание ввело такие магнитофоны в эксплуатацию. После второй мировой войны производство порошковых магнитных лент началось и в других странах. В настоящее время в США, ФРГ, Франции, Англии, Японии, Бельгии и других государствах выпускаются различные типы высококачественных лент различного назначения, в том числе и для звукозаписи.

В Советском Союзе производство порошковых магнитных лент (тип 1) было начато в 1954 г. Шосткинским химическим заводом. В 1955 г. на этом же заводе было освоено производство ленты типа 2, а в 1958 г. сделаны опытные поливы ленты типа 3. В 1959 г. Шосткинским химическим заводом были разработаны ленты типа 4 и 4А, а с 1960 г. завод начал выпускать ленту типа 6. Ленты типа 2 и 6 выпускаются на диацетатной основе. В 1965 г. на международной химической выставке в Москве Шосткинский химический завод демонстрировал ленту типа 6 на лавсановой основе. В настоящее

время Шосткинский химический завод выпускает, кроме того, ленту типа 6Р, отличающуюся бо́льшей однородностью чувствительности и частотной характеристики и подготавливает выпуск лент толщиной 37 *мк* на диацетатной (тип 9) и лавсановой (тип 10) основах.

Устройство лент. По своему устройству порошковые магнитные ленты могут быть сплошными или многослойными.

Сплошные ленты состоят из полихлорвинила, в котором равномерно распределен магнитный порошок. Известны пять типов сплошных лент: L(I. G. Farben, Германия, 1943 г.), L-extra (BASF, ФРГ, 1951 г.), EN и ER (Anorgana, ФРГ, 1955 г.) и лента чехословацкого производства.

Сейчас сплошные ленты не изготовляются, так как их электроакустические свойства хуже, чем у многослойных лент. Основной причиной плохих свойств сплошных лент является малая объемная концентрация магнитного порошка (5—10%). Увеличение же концентрации его вызывает уменьшение прочности ленты.

Многослойные ленты. Наибольшее распространение получили двухслойные ленты, состоящие из основы и нанесенного на нее рабочего слоя. Иногда для улучшения адгезии рабочего слоя к основе (прочности сцепления) между ними наносится специальный подслой. Для улучшения качества намотки обратная сторона некоторых лент делается матовой либо путем нанесения дополнительного слоя с шероховатой поверхностью, либо каким-нибудь другим способом. С целью уменьшения абразивности лент и повышения их износостойкости поверх рабочего слоя иногда наносится защитный слой толщиной 1—1,5 *мк*. Известны также предложения об улучшении электроакустических свойств лент путем нанесения нескольких разнородных по свойствам рабочих слоев, однако на практике они еще не используются.

Основы. В качестве материала основы двухслойных лент используется диацетилцеллюлоза (ДАЦ), триацетилцеллюлоза (ТАЦ), поливинилхлорид (ПВХ) и полиэтилентерефталат (ПЭ). В разных странах основа из полиэтилентерефталата имеет различные названия (в СССР — лавсан, в США — майлар, в ФРГ — хостафан, в Англии — милайнекс, во Франции — терфан).

Диацетил- и триацетилцеллюлозная основы изготовляются методом полива, который заключается в следующем: материал основы, разведенный в растворителе, тщательно фильтруется и через фильеру выливается на движущуюся металлическую ленту или барабан. После высыхания готовая пленка получается в 5—7 раз тоньше жидкого слоя. Далее полученная пленка досушивается в сушильном шкафу и сматывается в рулоны. Одна из сторон пленки может быть получена матовой, если поверхность металлической ленты или барабана сделать шероховатой.

Поливинилхлоридная основа изготовляется из порошка поливинилхлорида вальцеванием и последующим каландрированием. Прочность поливинилхлоридной пленки может быть повышена путем предварительного растяжения. Недостатком поливинилхлоридной основы является низкая температура размягчения и наличие в ней мелких отверстий, которые при растяжении увеличиваются, принимая овальную форму.

Полиэтилентерефталатная основа изготовляется из эфира политерефталевой кислоты путем вытягивания из расплава через фильеру. Если фильера имеет плоскую форму, то пленка получается в виде широкой ленты. Предварительное растяжение такой пленки может

производиться с помощью механических захватов. При круглой фильере пленка получается в виде трубы, растяжение которой может быть достигнуто с помощью сжатого воздуха. Готовая основа досушивается в сушильном шкафу и сматывается в рулоны.

По совокупности свойств лучшей основой в настоящее время является полиэтилентерефталатная. Затем, в порядке ухудшения свойств, следуют поливинилхлоридная, три- и диацетилцеллюлозная основы.

Полиэтилентерефталатная основа используется в основном для изготовления тонких лент (толщиной 37, 26, 18 и 12 *мк*), а также для лент большей толщины (55 *мк*), предназначенных для больших механических нагрузок и длительного хранения.

Поливинилхлоридная и триацетилцеллюлозная основы применяются для лент толщиной 55, 37 и 26 *мк*, а диацетилцеллюлозная — для лент толщиной 55 и 37 *мк*. Следует отметить, что основы, изготовленные из одного и того же материала разными изготовителями, могут отличаться по своим свойствам.

Помимо определенной прочности, термо- и влагостабильности к основе предъявляется весьма жесткое требование в отношении ее равнотолщинности. Непостоянство толщины основы неизбежно приводит к непостоянству толщины рабочего слоя, а следовательно, и к неоднородности электроакустических свойств ленты.

Магнитные порошки. В настоящее время для изготовления рабочего слоя магнитных лент применяются порошки гамма-окисла железа ($\gamma\text{-}Fe_2O_3$) и железо-кобальтовый феррит ($Co \cdot Fe_2O_3$). В качестве исходного сырья для получения порошков используется магнетит (Fe_3O_4), представляющий собой железный феррит состава $FeO \cdot Fe_2O_3$. Магнетит — это порошок черного цвета, кристаллизующийся в кубической системе обращенной шпинели. При нагревании в атмосфере воздуха он при температуре около 150° С переходит в $\gamma\text{-}Fe_2O_3$ и приобретает красно-коричневый цвет.

Форма частиц магнетита зависит от способа его приготовления. При осаждении аммиаком из раствора солей закиси железа в присутствии окислителя частицы магнетита имеют кубическую форму. При восстановлении водородом железноокисных пигментов, к которым относятся немагнитный гидрат окиси железа ($\alpha\text{-}FeOOH$) и окись железа ($\alpha\text{-}Fe_2O_3$), размер и форма частиц магнетита зависят от размера и формы частиц исходного пигмента, которые в процессе восстановления почти не изменяются. Используя этот способ получения магнетита, можно получить частицы нужных размеров и формы (например, игольчатой).

Магнетит может быть получен и другими способами, например, путем разложения щавелевокислого железа при ограниченном доступе воздуха или в среде инертного газа.

Процесс получения порошка $\gamma\text{-}Fe_2O_3$ состоит в окислении магнетита.

Феррит кобальта образуется при замещении в магнетите двухвалентного железа кобальтом. Так же как и магнетит, феррит кобальта кристаллизуется в кубической системе обращенной шпинели. Магнитные свойства порошка феррита кобальта зависят от содержания кобальта и могут изменяться в широких пределах. Порошок феррита кобальта коричневого цвета. Чем выше содержание кобальта, тем темнее цвет порошка.

Известны и другие методы получения магнитных порошков, на-

пример, путем длительного электроосаждения и осаждения на ртутном катоде.

В отечественных лентах типа 2 и 6 используются соответственно следующие порошки: феррит кобальта кубической формы с размером около 0,4 *мк* и гамма-окисел железа игольчатой формы с длиной частиц около 0,4 *мк* и отношением длины к диаметру приблизительно равным трем. Микрофотографии этих порошков приведены на рис. 1.

Магнитный лак состоит из магнитного порошка, связующего вещества, растворителя, пластификатора и различных добавок. Последние вводятся с целью ускорения процессов смачивания и диспергиро-

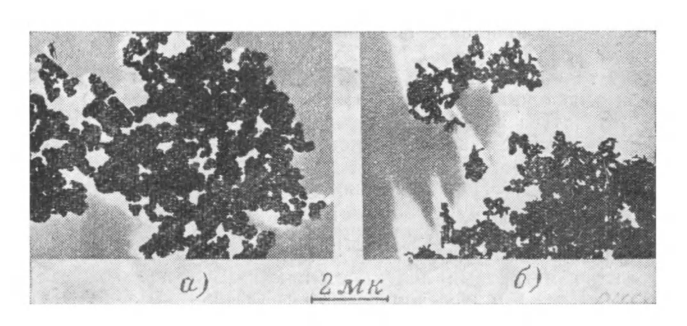


Рис. 1. Микрофотографии магнитных порошков.

а — лента типа 2; *б* — лента типа 6.

вания (т. е. разделения друг от друга) частиц порошка, увеличения электропроводности рабочего слоя и уменьшения его абразивности. Связующее вещество подбирается в зависимости от материала основы.

Магнитный лак приготовляется путем смешения компонентов в шаровых мельницах или аттритерах. Состав и режим приготовления лака выбираются так, чтобы обеспечить его однородность, высокую объемную концентрацию порошка, стабильность свойств во времени и хорошую фильтруемость. При использовании порошка с игольчатой формой частиц последние в процессе приготовления магнитного лака не должны по возможности ломаться.

Способы изготовления лент. Сплошные ленты изготовляются путем вальцевания и последующего календрирования смеси магнитного порошка и порошка поливинилхлорида.

Изготовление двухслойных лент производится двумя способами: одновременным отливом основы и рабочего слоя и нанесением рабочего слоя на готовую основу.

При первом способе полив производится на бесконечную металлическую ленту, натянутую на два барабана. Один из барабанов приводится во вращательное движение с помощью электродвигателя и редуктора, а второй свободно вращается в подшипниках. Полив основы и рабочего слоя производится из двух фильер, расстояние между которыми подобрано так, чтобы основа подходила к фильере с магнитным лаком еще не полностью высохшей. Это улучшает адгезию рабочего слоя к основе. Указанным способом можно изготовлять

ленты лишь на диацетил- и триацетилцеллюлозной основах. Режим сушки является компромиссным и не может быть оптимальным ни для основы, ни для рабочего слоя.

Способ нанесения рабочего слоя на готовую основу более совершенен, так как позволяет выбрать оптимальный режим сушки как основы, так и рабочего слоя. Достоинством этого способа является более высокая производительность, возможность применения основ более широкого ассортимента и упрочнения основы путем предварительного растяжения.

Нанесение рабочего слоя на готовую основу в свою очередь может производиться различными способами и в том числе поливом лака из фильеры и намазыванием вращающимся роликом, нижняя часть которого опущена в магнитный лак.

Ориентация частиц порошка. Если для приготовления магнитного лака используется порошок с анизотропными (например, игольчатыми) частицами, то электроакустические свойства ленты могут быть улучшены путем ориентации частиц порошка вдоль направления, в котором она будет намагничиваться при записи. Ориентация осуществляется путем воздействия магнитным полем на еще жидкий рабочий слой. Ориентирующее устройство должно быть расположено в непосредственной близости от места нанесения рабочего слоя, с тем чтобы вязкость лака не успела заметно увеличиться. Степень ориентации зависит от напряженности и продолжительности воздействия магнитного поля, вязкости и скорости высыхания магнитного лака, формы и размеров частиц порошка. Обычно напряженность магнитного поля должна быть приблизительно равна 65 *ка/м*. Ориентация частиц порошка позволяет также несколько повысить его объемную концентрацию в рабочем слое благодаря упорядочению расположения частиц.

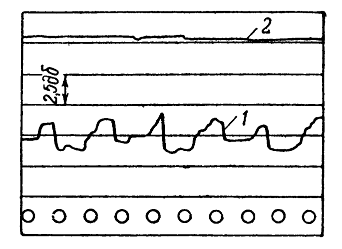


Рис. 2. Уровнеграмма сигнала, полученного при воспроизведении записи на неполированной (*1*) и полированной (*2*) ленте.

Каландрирование и полировка. Для улучшения качества поверхности рабочего слоя применяют каландрирование и полировку. Каландрирование, кроме того, может несколько увеличить объемную концентрацию порошка в рабочем слое. Каландрирование производится многовалковыми каландрами, изготовленными из разных материалов. Давление валков и их температура выбираются экспериментально.

Полировка рабочего слоя ленты может осуществляться различными способами, например, вращающимися металлическими щетками и щетками из искусственного волокна. В лабораторных и домашних условиях ленту можно отполировать с помощью несложных приспособлений, устанавливаемых на плате лентопротяжного механизма. Простейшее приспособление состоит из направляющих металлических роликов и прижимного обрезиненного ролика, осуществляющего давление в месте контакта двух участков ленты. Полировка производится благодаря трению рабочего слоя одного участка ленты о

рабочий слой другого ее участка. Недостатком этого способа является необходимость довольно значительного натяжения ленты.

Лучшие результаты и при меньшем натяжении (0,15—0,2 *н*)* могут быть получены с помощью приспособления, в котором полировка производится резцом из синтетического корунда. На рис. 2 приведена уровнеграмма сигнала, полученного при воспроизведении записи с длиной волны 38 *мк* на полированной и неполированной ленте. Если качество поверхности рабочего слоя ленты плохое, то полировка значительно улучшает его, увеличивает амплитуду сигналов с малой длиной волны записи и уменьшает неоднородность чувствительности. При любом способе полировки необходимо удалять отделившиеся частицы рабочего слоя, например с помощью пылесоса.

В последние годы в ряде стран ведутся интенсивные исследования по созданию магнитных лент с рабочим слоем из металлических сплавов, наносимых на пластмассовую основу методом распыления в вакууме, а также химическим и электрохимическим способами.

ТИПЫ, РАЗМЕРЫ И ФОРМА ЛЕНТ

Обозначения типов ленты. Во многих странах для звукозаписи выпускается большое количество типов магнитных лент. Общепринятого обозначения лент пока нет и изготовители обозначают их по-разному. Так, например, фирма 3M (США) обозначает типы лент трехзначными числами и окрашивает ленты в различные цвета (табл. 1). Маркировка на лентах этой фирмы отсутствует.

Фирма BASF (ФРГ) обозначает типы лент комбинацией букв и цифр и также окрашивает ленты в различные цвета (табл. 2). На обратной стороне лент этой фирмы имеется маркировка с указанием фирмы, типа ленты, номера полива и номера ролика. Одна или две первые буквы обозначения типа характеризуют материал основы (L — Luvitherm — фирменное название пленки из поливинилхлорида, PE — Polyester — полиэтилентерефталат), буква R обозначает, что лента предназначена для использования в радиовещании, цифры соответствуют приблизительно общей толщине лент.

Фабрика ORWO (ГДР) обозначает тип лент комбинацией букв и цифр (табл. 3). На обратной стороне лент имеется маркировка с указанием фабрики, типа, номера полива и номера ролика. Первая буква обозначения типа характеризует материал основы (C — Acetylcellulose), вторая — тип порошка; первые две цифры указывают толщину ленты в микронах, следующая за ними буква — отсутствие перфорации (U — Unperforiert) и последняя цифра — приблизительную ширину ленты в миллиметрах.

Фирма Kodak — Pathe (Франция) обозначает типы лент буквой и трехзначным числом (табл. 4). Буква характеризует материал основы (T — Triacetate, P — Polyester, V — Chlorure de Polyvinyle). На обратной стороне ленты имеется маркировка с указанием фирмы, страны, номера полива и номера ролика. Тип ленты обозначается там же. Ленты толщиной 26 *мк* и меньше обычно не маркируются.

В СССР тип ленты обозначается порядковым номером разработки (например, тип 2 и тип 6). Маркировка на обратной стороне содержит название завода-изготовителя, тип ленты и шестизначный номер, две первые цифры которого обозначают год изготовления, а остальные — номер полива.

* Все физические величины в книге приведены в Международной системе единиц (СИ).

Таблица 1

Тип ленты	Общая толщина, *мк*	Назначение и особенности лент	Материал основы	Цвет
Scotch 111	49	Для студийных магнитофонов	ДАЦ	Желтый
Scotch 120	53	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем	ДАЦ	Темно-зеленый
Scotch 122	53	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Темно-зеленый
Scotch 131	46	Для студийных магнитофонов. Малый копирэффект	ДАЦ	Красно-коричневый
Scotch 138	47	Для студийных магнитофонов. Малый копирэффект. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Красно-коричневый
Scotch 201	49	Для студийных магнитофонов. Малый уровень шума	АЦ	Черно-коричневый
Scotch 202	50	Для студийных магнитофонов. Малый уровень шума. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Черно-коричневый
Scotch 190	34	Для репортажных и бытовых магнитофонов	ДАЦ	Темно-красный
Scotch 150	33	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Темно-красный
Scotch 203	37	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Малый уровень шума. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Черно-коричневый
Scotch 200	26	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Темно-красный

Таблица 2

Тип ленты	Общая толщина, *мк*	Назначение и особенности лент	Материал основы	Цвет
LGR	51	Для студийных магнитофонов. Обратная сторона матирована	ПВХ	Ярко-красный
LR 56	56	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем. Обратная сторона матирована	ПВХ	Желтый
LGS 52	47	Для студийных и бытовых магнитофонов	ПВХ	Темно-красный
LGS 35	35	Для бытовых и репортажных магнитофонов	ПВХ	Коричневый
LGS 26	26	Для бытовых и репортажных магнитофонов	ПВХ	Красно-коричневый
PES 35	35	Для бытовых и репортажных магнитофонов. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Темно-коричневый
PES 26	26	Для бытовых и репортажных магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	Темно-коричневый
PES 18	18	Для бытовых и репортажных магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ	—

Таблица 3

Тип ленты	Тип порошка	Общая толщина, *мк*	Назначение и особенности лент	Материал основы
CR50 U6	*R*	50	Для студийных магнитофонов	ДАЦ
CR35 U6	*R*	35	Для репортажных и бытовых магнитофонов	ДАЦ
CS35 U6	*S*	35	Для репортажных и бытовых магнитофонов	ДАЦ

В настоящее время подготовлен стандарт на неперфорированные магнитные ленты шириной 6,25 *мм* для звукозаписи, в котором

Таблица 4

Тип ленты	Условный номер	Общая толщина, *мк*	Назначение и особенности лент	Материал основы
T100	3484	47	Для студийных магнитофонов	ТАЦ
V100	6484	47	То же	ПВХ
P100	8484	47	Для студийных магнитофонов. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ
T100D	2484	47	Для студийных магнитофонов. Обратная сторона матирована	ТАЦ
T101	3489	54	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем	ТАЦ
T101D	2486	54	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем. Обратная сторона матирована	ТАЦ
T200	3283	27	Для репортажных и бытовых магнитофонов	ТАЦ
P200	8283	27	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ
P300	8163	18	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям	ПЭ
P400	—	12	Для миниатюрных магнитофонов	ПЭ

предусмотрены девять типов лент (табл. 5). Первые три буквы обозначения типа являются начальными буквами слов: ленты, магнитные, (для) звукозаписи. Цифра после дефиса обозначает приблизительную ширину ленты в миллиметрах, а цифры после второго дефиса — толщину ленты в микронах. Перед вторым дефисом может ставиться буква, указывающая на то, что одно из электроакустических свойств ленты улучшено (У — возможность повышенного уровня записи; К — пониженный уровень копирэффекта и т. д.). Наличие в конце обозначения буквы «п» указывает на повышенную прочность основы.

Размеры ленты. *Ширина.* Первые магнитные ленты имели ширину 6,5 *мм.* В конце 40-х г. в США было освоено производство магнитной ленты шириной 6,35 *мм* (1/4 дюйма), и европейские страны также перешли на этот размер. В дальнейшем было установлено, что

Таблица 5

Тип лент	Общая толщина, *мк*	Назначение и особенности лент
ЛМЗ-6-55	55	Для студийных магнитофонов
ЛМЗ-6-55п	55	Для студийных магнитофонов. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям
ЛМЗ-6У-55	55	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем
ЛМЗ-6У-55п	55	Для студийных магнитофонов. Возможна запись с высоким уровнем. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям
ЛМЗ-6-37	37	Для студийных, репортажных и бытовых магнитофонов
ЛМЗ-6-37п	37	Для студийных, репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная прочность и стойкость к климатическим воздействиям
ЛМЗ-6-27п	27	Для репортажных и бытовых магнитофонов. Повышенная стойкость к климатическим воздействиям
ЛМЗ-6-18п	18	То же
ЛМЗ-6-12п	12	Для миниатюрных магнитофонов

ширина большинства выпускаемых лент находится в пределах 6,2—6,3 *мм*, и в 1959 г. комитет 29-А Международной электротехнической комиссии (МЭК) принял рекомендацию об изменении ширины лент с $6{,}35_{-0{,}15}$ *мм* на 6,25±0,05 *мм*. В настоящее время большинство изготовителей магнитных лент руководствуются этой рекомендацией. Тот же размер предусмотрен в ГОСТ 8303-62 «Ленты магнитные. Основные размеры». Так как направляющие в магнитофонах делают лишь немного шире максимальной ширины ленты, то использование старых лент шириной 6,5 и 6,35 *мм* может привести к их порче.

Некоторые зарубежные фирмы начали выпускать магнитные ленты шириной 3,81 *мм* (0,15 дюйма). Такие ленты находят применение в миниатюрных и кассетных магнитофонах. Использование кассет (рис. 3) позволяет значительно упростить обращение с магнитной лентой и сделать ее такой же удобной в эксплуатации, как граммофонная пластинка.

Толщина. В течение долгого времени магнитные ленты выпускались толщиной около 55 *мк*. Этот же размер был рекомендован в

1957 г. комитетом 29-А МЭК. В дальнейшем были выпущены и более тонкие магнитные ленты: долгоиграющие — толщиной 35 *мк*, сверхдолгоиграющие — толщиной 26 *мк*, а также ленты толщиной 18 и 12 *мк*. Для двух последних лент превосходных степеней слова «долгоиграющая» нехватило и их называют обычно также сверхдолгоиграющими.

В ГОСТ 8303-62 установлены следующие значения толщины магнитных лент: 55_{-5}, 37_{-3}, 27_{-2} и 18_{-2} *мк*.

Сердечники и катушки. Магнитные ленты, предназначенные для применения в студийных магнитофонах, должны быть намотаны на

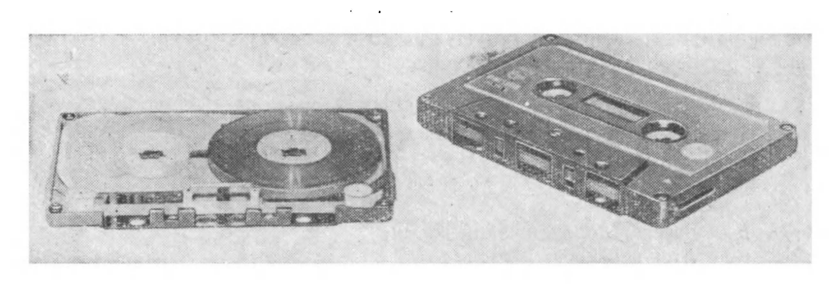


Рис. 3. Кассета с лентой шириной 3,81 *мм*.

сердечники типа I-А и I-С по ГОСТ 7705-67 или катушки типа II по ГОСТ 7704-61. Намотка должна быть выполнена так, чтобы рабочий слой был обращен наружу рулона.

Магнитные ленты, предназначенные для применения в бытовых магнитофонах и диктофонах (кроме кассетных), должны быть намотаны на катушки типа I по ГОСТ 7704-61 рабочим слоем внутрь рулона.

Во избежание вытягивания краев лента должна наматываться так, чтобы ее нижний край находился на расстоянии $1{,}2^{+0{,}2}$ *мм* от нижней плоскости сердечника. При намотке на катушку лента должна располагаться на одинаковом расстоянии от щек катушки.

На практике часто бывает необходимо определить длину ленты в рулоне (l) и время записи (t) на ленте известной длины. Эти величины могут быть подсчитаны по формулам

$$l = \frac{D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2}{0{,}01274 \cdot d_{\text{л}}} \quad \text{и} \quad t = \frac{l}{0{,}6v},$$

где $D_{\text{н}}$ — наружный диаметр рулона, *см*;
$D_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр рулона, *см*;
$d_{\text{л}}$ — толщина ленты, *мк*;
v — скорость движения ленты в *см/сек*. При этом l получается в метрах, а t — в минутах.

Форма ленты. В свободном состоянии лента должна представлять собой плоскую полосу с ровными краями. Деформация ленты по ширине (коробление) ухудшает ее контакт с магнитными головками и увеличивает волновые потери при записи и при воспроизведении.

Коробление вызывается наличием механических напряжений между рабочим слоем и основой, которые могут возникнуть из-за неправильного выбора материала связующего вещества, неправильного режима сушки ленты при ее изготовлении и по другим причинам.

Небезразлично направление коробления. Если рабочий слой имеет выпуклую поверхность, то требуется бо́льшее усилие для хорошего контакта, чем когда он имеет вогнутую поверхность. Качество намотки в первом случае будет хуже.

Деформация ленты по длине (сабельность) также может привести к ухудшению контакта с магнитными головками и к перекосам ленты относительно магнитных головок. Перекосы ленты вызывают дополнительные волновые потери P_α, которые могут быть определены по формуле

$$P_\alpha = 20 \lg \frac{\sin \frac{\pi b \operatorname{tg} \alpha}{\lambda}}{\pi b \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\lambda}}, \; \partial б,$$

где b — ширина дорожки записи, *мм*;
α — угол перекоса, *рад*;
λ — длина волны записи, *мм*.

Чрезмерная сабельность, как и коробление приводит к ухудшению качества намотки.

Сабельность вызывается главным образом вытягиванием края ленты при резке.

Попытки непосредственно связать сабельность с величиной вызываемых ею волновых потерь пока не дали положительного результата, поэтому представляется целесообразным измерять происходящее изменение положения магнитного штриха вдоль рулона. С этой целью рабочие зазоры головок вначале устанавливаются перпендикулярно направлению движения ленты и на испытуемой ленте производят запись и одновременное воспроизведение сигнала с длиной волны, соответствующей верхней граничной частоте. В процессе испытания периодически подстраивают положение рабочего зазора воспроизводящей головки по максимуму выходного напряжения и с помощью специального приспособления измеряют отклонение рабочего зазора воспроизводящей головки от исходного положения. Если отклонение превышает 2′, то лента не пригодна для записи с малой длиной волны.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ФЕРРОМАГНЕТИЗМА

Ферромагнетизм. Ферромагнитные материалы отличаются от других материалов способностью сильно намагничиваться в слабых магнитных полях. Согласно современным взглядам, причина магнитных свойств заключается в электрической природе вещества, а элементарными носителями магнетизма считают электроны и ядра атомов. При движении электрона по орбите возникает орбитальный магнитный момент, а при вращении вокруг собственной оси — спиновый магнитный момент. Магнитный момент ядра обусловлен находящимися в нем протонами и нейтронами.

При намагничивании ферромагнетиков внешнее магнитное поле влияет главным образом на ориентацию спиновых магнитных моментов, поэтому элементарными носителями магнетизма в ферромагнетиках в основном являются спиновые магнитные моменты электронов.

Электроны в атомах имеют различные энергетические уровни и стараются занять места в оболочках и подоболочках, которые находятся ближе к ядру и более выгодны в энергетическом отношении. В зависимости от ориентации спинов в электронных оболочках их условно считают положительными или отрицательными. Если число положительных и отрицательных спинов в данной оболочке одинаково, то спиновые моменты взаимно компенсируют друг друга и оболочка в магнитном отношении нейтральна. Если оболочка содержит разное число электронов с положительными и отрицательными спинами, то часть их остается нескомпенсированной и, следовательно, атом в целом имеет определенный магнитный момент. Таким образом, магнитный момент атома определяется не всеми электронами, а лишь частью их. Существование ферромагнетизма в веществе возможно при выполнении следующих двух условий: наличие нескомпенсированных магнитных спиновых моментов, возникающих лишь в атомах с незаполненными оболочками, и взаимодействие между спинами соседних атомов, называемое обменным взаимодействием.

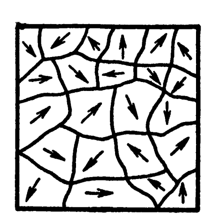


Рис. 4. Схематическое изображение доменной структуры в размагниченном ферромагнетике.

Доменная структура. Ферромагнитное тело состоит из большого числа доменов (областей самопроизвольного намагничивания), причем каждый домен намагничен до насыщения. У размагниченного ферромагнетика магнитные моменты доменов расположены хаотически и результирующая сумма намагниченностей всех доменов равна нулю (рис. 4).

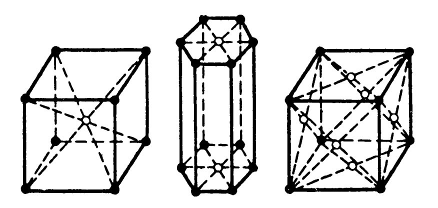


Рис. 5. Типы кристаллических решеток:

слева — кубическая объемноцентрированная; в центре — гексагональная; справа — кубическая гранецентрированная.

Степень легкости намагничивания ферромагнетика определяется силами, препятствующими повороту магнитных моментов вдоль направления поля Они зависят, главным образом, от магнитного взаимодействия между атомами в кристаллической решетке, свойственной данному ферромагнетику. Ферромагнетики имеют, в основном, три

типа решеток (рис. 5): кубическую гранецентрированную, кубическую объемноцентрированную и гексагональную. Тип решетки может изменяться в зависимости от температуры. Простейшей формой решетки является кубическая. Плоскости куба обозначаются индексами, представляющими собой обратные значения длин отрезков, отсекаемых данной плоскостью на осях x, y и z (рис. 6). Сторона куба условно принимается равной единице.

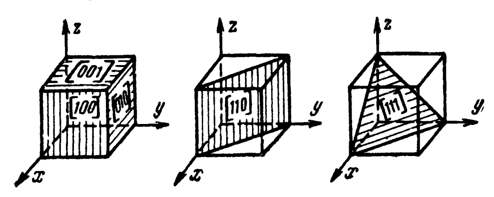


Рис. 6. Обозначения плоскостей кубической решетки.

На рис. 7 приведены кривые намагничивания в разных направлениях монокристалла железа. Как видно из рисунка, кристалл магнитноанизотропен; он легко намагничивается в направлении ребер куба, и трудно — в направлении пространственных диагоналей. Если внешнее поле равно нулю, то кристалл всегда намагничен в одном из легких направлений.

Рис. 7. Кривые намагничивания монокристалла железа в разных направлениях.

Конфигурация и размеры доменов определяются минимумом полной магнитной энергии, состоящей из четырех составляющих: обменной энергии, энергии магнитной анизотропии, магнитоупругой энергии и магнитостатической энергии.

Обменная энергия связана с постепенным изменением направлений спинов в граничном слое между доменами.

Энергия магнитной анизотропии способствует установлению векторов намагниченности вдоль направлений легкого намагничивания. Разница в энергиях, необходимых для намагничивания кристалла до насыщения в трудном и легком направлениях, называется энергией магнитной кристаллографической анизотропии и характеризуется константой анизотропии. Энергия магнитной анизотропии может иметь различную природу и проявлятъся в различных формах. В большинстве случаев энергия магнитной анизотропии сильно зависит от температуры.

В некоторых сплавах и ферритах можно создать одноосную магнитную анизотропию, подвергая материал отжигу в магнитном поле. При медленном охлаждении в поле до комнатной температуры высокотемпературное состояние «замораживается», что проявляется в

возникновении направления легкого намагничивания, совпадающего с направлением поля при отжиге. Такая анизотропия называется индуцированной.

Магнитоупругая энергия обусловлена анизотропией, вызываемой упругими напряжениями. Для недеформированной решетки магнитоупругая энергия равна нулю.

Домены отделены друг от друга переходными слоями — границами, внутри которых отдельные спины имеют все промежуточные направления и отклонены от направления легкого намагничивания. Это приводит к возрастанию обменной энергии и энергии магнитной анизотропии. Обменное взаимодействие стремится сделать границу возможно толще, но этому препятствует энергия кристаллографической анизотропии. Таким образом, энергия границ состоит из обменной энергии и энергии кристаллографической анизотропии и определяется равновесием между силами обмена и анизотропии.

Если ферромагнетик состоит из мелких частиц, распределенных в неферромагнитном материале, то, начиная с некоторого критического размера частиц, образование границ между доменами делается энергетически невыгодным, так как при этом слишком большая часть объема частицы будет занята независящей от ее размера границей. В этом случае граница не образуется и каждая частица представляет собой отдельный домен.

Критический размер частиц, ниже которого они становятся однодоменными, зависит от их объемной концентрации в ферромагнетике. С увеличением объемной концентрации критический размер увеличивается и частицы становятся однодоменными при большем размере. При размерах частиц значительно меньше критического они могут потерять ферромагнитные свойства и превратиться в парамагнитные.

Домены ферромагнетика обладают самопроизвольной намагниченностью лишь вплоть до некоторой определенной температуры, называемой точкой Кюри. При всех температурах выше точки Кюри самопроизвольная намагниченность разрушается и вещество теряет ферромагнитные свойства. Причиной разрушения самопроизвольной намагниченности является тепловое движение, уменьшающее взаимодействие между спинами.

Ферромагнитные материалы условно могут быть разделены на две основные группы: магнитно-мягкие и магнитно-твердые. К первой группе относятся технически чистое железо, электротехнические стали, пермаллой и некоторые другие материалы. Характерной особенностью магнитно-мягких материалов являются малая коэрцитивная сила и большая магнитная восприимчивость. Ко второй группе относятся сплавы и порошки для постоянных магнитов и носителей записи. Характерной особенностью магнитно-твердых материалов является большая коэрцитивная сила и малая магнитная восприимчивость.

Процесс намагничивания. Магнитное состояние вещества характеризуется значениями намагниченности J и индукции B

$$J = \frac{\Delta M}{\Delta V}, \ a/м,$$

где ΔM — магнитный момент неограниченно малого объема ΔV;

$$B = \mu_0 (H + J), \ тл;$$

здесь μ_0 — магнитная постоянная, равная $4\pi \cdot 10^{-7}$ *гн/м*;
H — намагничивающее поле, *а/м*.

Магнитный поток $\Phi = B \cdot F$, *вб*, где F — площадь поперечного сечения, через которое проходит поток, *м*^{2}.

Отношение намагниченности к напряженности поля называется магнитной восприимчивостью вещества

$$k = \frac{J}{H}.$$

Отношение индукции к напряженности поля называется абсолютной магнитной проницаемостью

$$\mu_a = \frac{B}{H}, \text{ гн/м}.$$

Для вакуума абсолютная магнитная проницаемость равна μ_0.

Относительная магнитная проницаемость

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0} = 1 + k.$$

При помещении ферромагнетика в магнитное поле в нем происходит перераспределение магнитных моментов, в результате чего намагниченность тела в целом возрастает. Возрастание результирующей намагниченности под действием внешнего магнитного поля может происходить в результате двух процессов: увеличения объема доменов, имеющих выгодную относительно направления внешнего поля ориентацию, за счет доменов с невыгодной ориентацией (процесс смещения границ) и поворота векторов намагниченности доменов в направлении внешнего поля (процесс вращения).

Процессы намагничивания могут быть как обратимые, так и необратимые. При обратимых процессах уменьшение внешнего магнитного поля от некоторого значения до нуля вызывает восстановление первоначального состояния, например, размагниченного. При необратимых процессах уменьшение внешнего поля до нуля не приводит к восстановлению первоначального состояния и вызывает изменение намагниченности.

Кривая начального намагничивания. В общем случае намагниченность ферромагнетика зависит не только от напряженности воздействующего магнитного поля, но и от магнитной предыстории образца. Если исходным является размагниченное состояние образца, то зависимость его намагниченности от напряженности поля графически изображается кривой начального намагничивания. Если размагнитить ферромагнетик нагревом до точки Кюри с последующим охлаждением в отсутствии магнитных полей, то полученное состояние ферромагнетика называется абсолютным нулевым состоянием, а кривая начального намагничивания, снятая от такого исходного состояния, называется абсолютной нулевой кривой намагничивания. Если размагнитить ферромагнетик каким-либо другим способом, например, воздействием плавноубывающего переменного магнитного поля, то он также будет приведен в состояние, в котором средняя намагниченность будет равна нулю, однако это состояние отличается от абсолютного нулевого.

На рис. 8 приведена кривая начального намагничивания, типичная для большинства ферромагнетиков. С точки зрения процессов намагничивания эту кривую в общем случае можно разделить на пять областей.

В начальной области (*I*) намагничивание магнитно-мягких материалов происходит в основном вследствие обратимых процессов, связанных с упругим смещением границ между доменами. В этой области начальная магнитная восприимчивость $k_{нч}$ и начальная магнитная проницаемость $\mu_{нч}$ — величины постоянные и не зависят от напряженности поля. У магнитно-твердых материалов процессы смещения границ могут практически отсутствовать. У этих материалов начальная восприимчивость очень мала и обусловлена только процессом вращения.

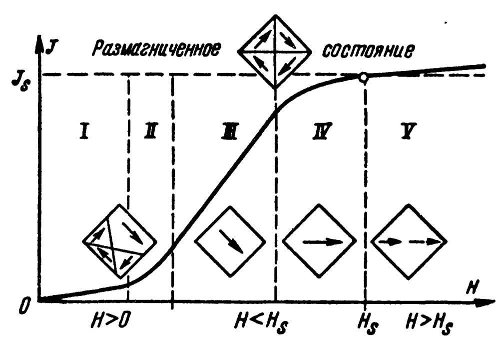


Рис. 8. Кривая начального намагничивания.

Область Релея (*II*) характеризуется квадратичной зависимостью намагниченности от напряженности поля. Процесс намагничивания в области Релея происходит, главным образом, вследствие ступенчатого изменения направления намагниченности доменов и в меньшей степени из-за упругого смещения границ. Этот процесс не является полностью обратимым. Для многих ферромагнетиков область Релея соответствует сравнительно большому диапазону полей, однако существуют и такие ферромагнетики, у которых этой области нет.

Область наибольшей магнитной восприимчивости (*III*) характеризуется быстрым возрастанием намагниченности, связанным со смещением границ между доменами. В магнитно-твердых материалах значительную роль, кроме того, играют ступенчатые изменения направления намагниченности (скачки Баркгаузена). Оба процесса в значительной мере необратимы.

В области, близкой к насыщению (*IV*), основную роль играют обратимые процессы вращения.

В области очень сильных полей (*V*), когда можно считать законченными все процессы смещения и вращения, наблюдаются лишь ничтожно малые приращения намагниченности.

Необходимо иметь в виду, что описанное выше разграничение участков кривой начального намагничивания весьма условно. В действительности процесс смещения границ и процесс вращения могут протекать одновременно.

График зависимости энергии границы (E) от ее положения (x) называется энергетической кривой (рис. 9). Эта кривая имеет ряд минимумов и максимумов (потенциальные ямы и барьеры). Если внешнее поле равно нулю, то граница находится в положении, соответствующем минимуму энергии (точка A). При наложении внешнего поля граница начнет смещаться до достижения максимального градиента энергии (точка B). Этому положению соответствует так называемое критическое поле.

Если уменьшить внешнее поле до нуля раньше, чем оно достигнет критического значения, то граница обратимо сместится в исходное положение (точка A). Если при увеличении внешнего поля оно достигнет критического значения, то граница уже без дальнейшего увеличения поля переместится в точку C, имеющую тот же градиент энергии. При этом произойдет так называемый скачок Баркгаузена. Если теперь уменьшить до нуля внешнее поле, то граница не вернется в исходное состояние, а «застрянет» в ближайшей потенциальной яме (точка D), т. е. произойдет необратимое смещение границы из точки A в точку D.

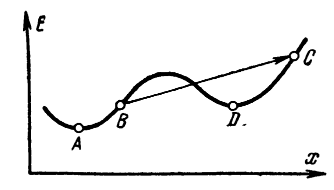


Рис. 9. Энергетическая кривая.

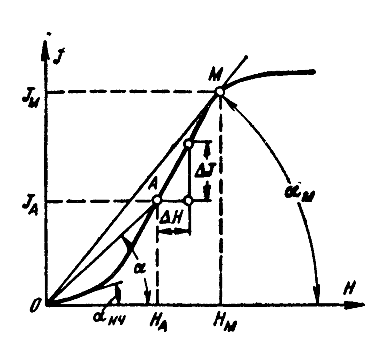


Рис. 10. К объяснению различных понятий магнитной восприимчивости.

При рассмотрении кривых начального намагничивания часто пользуются понятиями начальной ($k_{нч}$), нормальной (k), дифференциальной (k_d) и максимальной ($k_{макс}$) восприимчивости (рис. 10).

Начальная магнитная восприимчивость определяется как тангенс угла наклона касательной на начальном участке кривой намагничивания

$$k_{нч} = \operatorname{tg} \alpha_{нч} = \lim_{H \to 0} \frac{J}{H}.$$

Для точки A нормальная восприимчивость определяется как тангенс угла наклона секущей OA к оси абсцисс

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{J_A}{H_A}.$$

Дифференциальная восприимчивость

$$k_d = \frac{\Delta J}{\Delta H} \ (\text{при } \Delta H \to 0).$$

Максимальная восприимчивость определяется как тангенс угла наклона касательной к кривой намагничивания в точке ее верхнего перегиба (M)

$$k_{\text{макс}} = \operatorname{tg} \alpha_M = \frac{J_M}{H_M}.$$

Соответствующие выражения для значений абсолютных магнитных проницаемостей имеют вид:

$$\mu_{\text{нч}} = \lim_{H \to 0} \frac{B}{H}, \quad \mu = \frac{B_A}{H_A},$$

$$\mu_d = \frac{\Delta B}{\Delta H} \ (\text{при } \Delta H \to 0) \text{ и } \mu_{\text{макс}} = \frac{B_M}{H_M}.$$

Кривая остаточной намагниченности представляет собой зависимость намагниченности, остающейся в ферромагнитном теле после воздействия магнитного поля, от напряженности этого поля. По своей форме кривая остаточной намагниченности подобна рассмотренной выше кривой начального намагничивания. Характерными точками кривой остаточной намагниченности являются точка перегиба, расположенная в середине линейного участка, и точка, соответствующая полю насыщения (H_{sr}).

Величина H_{sr} меньше, чем H_s, так как в этом интервале полей намагниченность J увеличивается лишь вследствие обратимых процессов намагничивания.

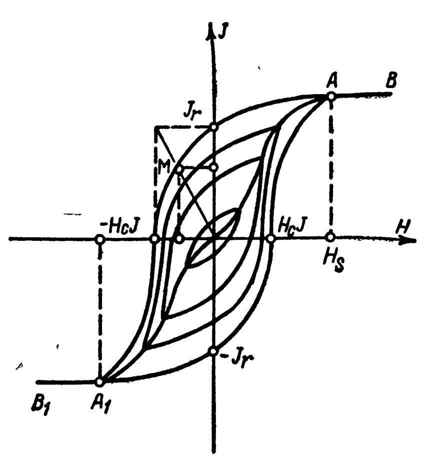


Рис. 11. Семейство петель гистерезиса.

Гистерезис. Процесс намагничивания за исключением начальной (I) и конечной (V) областей является необратимым. Поэтому если после достижения некоторой величины намагниченности начать уменьшать напряженность поля, то намагниченность будет изменяться по кривой, отличной от кривой начального намагничивания. Это явление называется магнитным гистерезисом. На рис. 11 показано семейство петель гистерезиса.

При увеличении максимальной напряженности намагничивающего поля площадь петли гистерезиса увеличивается и при некотором его значении достигает максимума. Эта максимальная петля называется предельной петлей гистерезиса и имеет большое значение для определения свойств ферромагнитного материала. При дальнейшем увеличении напряженности поля форма и размеры петли не из-

меняются, а лишь увеличиваются ее безгистерезисные участки AB и A_1B_1. Участок $J_r - H_{cJ}$ называется размагничивающей ветвью петли гистерезиса.

Кривые начального намагничивания и петли гистерезиса могут быть построены не только в координатах J, H, но и в координатах B, H. Точки пересечения предельной петли гистерезиса с осями координат являются важными характеристиками ферромагнетиков. Значение намагниченности или индукции на предельной петле гистерезиса при поле, равном нулю, называется соответственно максимальной остаточной намагниченностью J_r или максимальной остаточной индукцией B_r, причем

$$J_r = \frac{B_r}{\mu_0}, \ a/м.$$

Значение напряженности магнитного поля на предельной петле гистерезиса, при котором намагниченность или индукция равны нулю, называется соответственно коэрцитивной силой по намагниченности H_{cJ} или коэрцитивной силой по индукции H_{cB}. Для магнитно-твердых материалов значение коэрцитивной силы по намагниченности может быть значительно выше значения коэрцитивной силы по индукции.

Значение напряженности магнитного поля, при котором равна нулю остаточная намагниченность, называется соответственно коэрцитивной силой по остаточной намагниченности H_{cJr}.

Коэрцитивная сила однодоменных частиц определяется кристаллографической анизотропией, анизотропией формы частиц и анизотропией механических напряжений. Практически для создания материалов с большой коэрцитивной силой используются кристаллографическая анизотропия и анизотропия формы частиц. При этом следует иметь в виду, что в первом случае имеет место значительная температурная зависимость коэрцитивной силы.

Важными характеристиками магнитно-твердых материалов являются также коэффициент прямоугольности петли гистерезиса $k_п$ и коэффициент выпуклости размагничивающей ветви петли гистерезиса β.

Коэффициент прямоугольности определяется выражением

$$k_п = \frac{J_r}{J_s},$$

где J_s — намагниченность насыщения.

Коэффициент выпуклости определяется выражением

$$\beta = \frac{(JH)_{макс}}{J_r H_{cJ}}.$$

Значение $(JH)_{макс}$ может быть найдено графически по точке пересечения (M) размагничивающей ветви петли гистерезиса с диагональю прямоугольника, построенного на сторонах J_r и H_{cJ} (см. рис. 11).

Размагничивающий фактор. Кривая намагничивания $J=f(H_i)$ (H_i — внутреннее поле в ферромагнетике) является характеристикой вещества. Она может быть получена при намагничивании образца тороидальной формы. Если во внешнем намагничивающем поле H_e

находится образец разомкнутой формы, то на его концах образуются магнитные полюсы, создающие внутри образца размагничивающее поле $H_{\circ}$, направленное настречу внешнему полю. Для однородно намагниченных тел (например, элипсоидов вращения) размагничивающее поле пропорционально намагниченности образца

$$H_{\circ} = NJ.$$

Коэффициент пропорциональности N называется размагничивающим фактором. Внутреннее поле в ферромагнетике равно разности внешнего и размагничивающего полей

$$H_i = H_e - H_{\circ} = H_e - NJ.$$

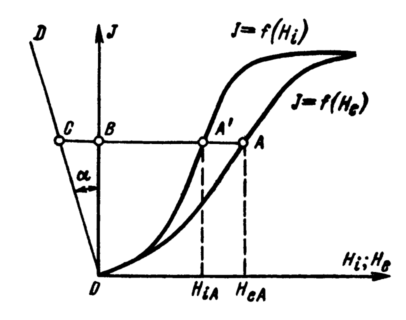


Рис. 12. Кривая намагничивания вещества и кривая намагничивания тела.

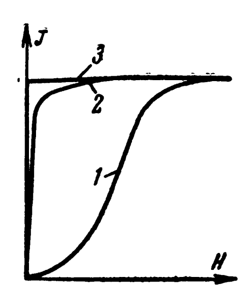


Рис. 13. Кривые начального (*1*) и идеального (*2*, *3*) намагничивания.

Кривая намагничивания $J=f(H_e)$, в отличие от кривой $J=f(H_i)$ является характеристикой тела.

Если известен размагничивающий фактор, то по кривой намагничивания тела можно построить кривую намагничивания вещества (рис. 12). Для этого из начала координат нужно провести прямую OD под таким углом α к оси ординат, чтобы $\mathrm{tg}\ \alpha = N$, затем через некоторую точку A на кривой $J=f(H_e)$ нужно провести прямую, параллельную оси абсцисс. Отложим от точки A отрезок $AA'=BC$; абсцисса точки A' равна внутреннему полю H_{iA}, соответствующему внешнему полю H_{eA}. Повторив это построение для ряда точек, можно получить искомую кривую $J=f(H_i)$.

Если размагничивающий фактор не постоянен ($N \neq \mathrm{const}$), а зависит от намагниченности, то необходимо вычислить его величину для всех интересующих нас значений J. Подобным же образом по петле гистерезиса, измеренной для тела, может быть построена петля гистерезиса для вещества. Следует отметить, что коэрцитивная сила по намагниченности не зависит от формы образца и имеет одинаковое значение для вещества и тела. Коэрцитивная сила по индукции зависит от формы образца, и ее значение для тела меньше, чем для вещества.

Идеальное намагничивание. Известен способ, позволяющий исключить явление гистерезиса при намагничивании ферромагнети-

ков. Если одновременно с основным постоянным намагничивающим полем воздействовать на ферромагнетик переменным магнитным полем достаточной напряженности и при каждом значении постоянного поля постепенно снижать амплитуду переменного поля до нуля, то вместо кривой начального намагничивания (кривая *1* на рис. 13) будет получена кривая идеального намагничивания *2*. При уменьшении постоянного поля намагниченность будет изменяться по той же кривой, что и при увеличении поля. Характерной особенностью кривой идеального намагничивания является большая крутизна в слабых полях. У совершенно однородного ферро-

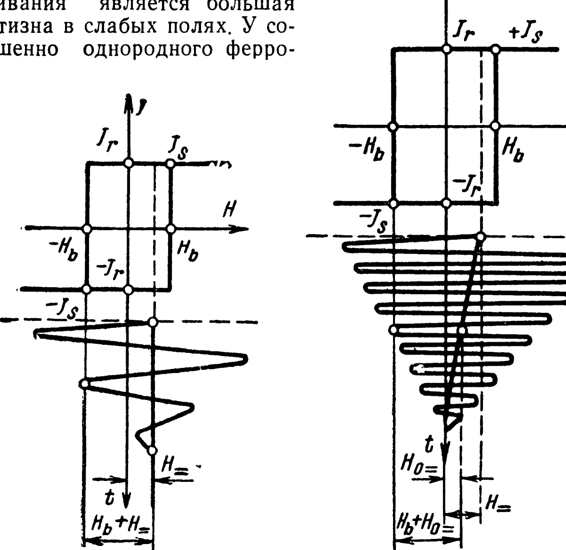


Рис. 14. Графическое изображение процесса идеального намагничивания однодоменной частицы.

Рис. 15. Графическое изображение процесса квазиидеального намагничивания однодоменной частицы.

магнетика (при отсутствии пустот, включений и других неоднородностей) она имела бы вид кривой *3*. Однако внутренние размагничивающие поля, возникающие вследствие неоднородностей ферромагнетика, вызывают некоторый наклон кривой идеального намагничивания. Тангенс угла наклона называется внутренним размагничивающим фактором $N_i = \operatorname{tg} \alpha = H/J$.

Идеальное намагничивание может наблюдаться также в тех случаях, когда вместо воздействия плавноубывающим переменным магнитным полем ферромагнетик подвергается во время намагничивания механической тряске или температурным воздействиям.

Графическое изображение процесса идеального намагничивания отдельной однодоменной частицы с коэрцитивной силой H_b приведе-

но на рис. 14. Такая частица может иметь только два состояния намагниченности — J_s или $+J_s$.

Частица с исходным состоянием $-J_s$ намагничивается постоянным полем $H_=$, напряженность которого меньше, чем H_b. На постоянное поле наложено переменное поле, амплитуда которого плавно уменьшается от значения, превышающего $H_b+H_=$, до нуля. Постоянное поле остается при этом неизменным и выключается лишь после исчезновения переменного поля.

До того момента, пока амплитуда переменного поля уменьшится до величины $H_b+H_=$, частица несколько раз перемагнитится от $-J_s$ до $+J_s$. Последующие значения суммарного поля будут уже недостаточны для перехода частицы в состояние $-J_s$ и под действием постоянного поля она намагнитится до $+J_s$. Если перейти от отдельной (изолированной) однодоменной частицы к такой же частице, но находящейся внутри ферромагнетика, в окружении других частиц, то влияние последних заключается в образовании некоторого внутреннего поля взаимодействия H_m. Величина и знак H_m в общем случае не одинаковы для разных частиц. В размагниченном ферромагнетике знак исходного состояния частицы определяется знаком поля взаимодействия H_m. При идеальном намагничивании меняют знак только те частицы, для которых приложенное постоянное поле $H_=$ больше, чем поле H_m. Чем больше $H_=$, тем большее количество частиц изменяют свое исходное состояние, тем сильнее намагничивается ферромагнетик. При H_m, одинаковом для всех частиц. идеальное намагничивание происходит скачком (кривая *3* на рис. 13).

Квазиидеальное намагничивание. Если при уменьшении амплитуды переменного поля до нуля одновременно уменьшать и постоянное поле, то будет иметь место частный случай идеального намагничивания — квазиидеальное намагничивание.

На рис. 15 приведено графическое изображение процесса квазиидеального намагничивания отдельной однодоменной частицы. Амплитуда переменного поля, следующая за амплитудой $H_b+H_{0=}$, окончательно перемагничивает частицу до значения $+J_s$. Все последующие амплитуды переменного поля уже не могут изменить знак намагниченности частицы.

В отличие от случая, рассмотренного на рис. 14, к моменту окончательного перемагничивания постоянное поле уменьшается от значения $H_=$ до значения $H_{0=}$. При квазиидеальном намагничивании ферромагнетика в целом, когда каждая однодоменная частица находится кроме того под влиянием поля взаимодействия H_m, изменяют свое исходное магнитное состояние только те частицы, у которых поле взаимодействия меньше, чем $H_{0=}$, а не $H_=$, как это было при идеальном намагничивании. Вот почему крутизна кривой квазиидеального намагничивания меньше, чем у кривой идеального намагничивания, хотя и больше, чем у кривой начального намагничивания.

В некоторых случаях используется кривая остаточного потока при квазиидеальном намагничивании и крутизна этой кривой.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕНТ

Магнитные свойства лент в значительной степени определяют их электроакустические свойства. К основным магнитным свойствам лент относятся: остаточный магнитный поток насыщения, намагничен-

ность насыщения, максимальная остаточная намагниченность, коэрцитивная сила по намагниченности, коэрцитивная сила по остаточной намагниченности, начальная магнитная проницаемость, максимальная магнитная проницаемость, максимальная крутизна кривой остаточного магнитного потока, максимальная крутизна кривой остаточного магнитного потока при квазиидеальном намагничивании, коэффициент прямоугольности, коэффициент выпуклости и степень ориентации.

Магнитные свойства ленты зависят от магнитных свойств и объемной концентрации порошка в рабочем слое.

Магнитные свойства порошка в рабочем слое ленты могут быть определены путем измерения магнитных свойств лент и приведения их к одной объемной концентрации. Наиболее просто сравнивать магнитные свойства порошков после их пересчета на стопроцентную объемную концентрацию.

Объемная концентрация порошков в современных лентах находится в пределах от 0,25 до 0,45. Наличие связующего вещества между частицами порошка уменьшает намагниченность, а в отдельных случаях может изменить и коэрцитивную силу. Для получения значения намагниченности, соответствующего стопроцентной концентрации, необходимо учесть два фактора: во-первых, истинную площадь сечения, занимаемую порошком в рабочем слое, и, во-вторых, внутреннее размагничивающее поле, возникающее вследствие разобщенности частиц порошка. В измеренное значение намагниченности ленты должны быть поэтому внесены поправки, учитывающие эти факторы. При определении намагниченности насыщения поправка, учитывающая внутренний размагничивающий фактор, равна нулю.

В случае равномерного распределения частиц порошка в рабочем слое ленты площадь сечения порошка ($F_{п}$) определяется выражением

$$F_{п} = cF_{р.с},$$

где c — объемная концентрация порошка в рабочем слое;
$F_{р.с}$ — площадь сечения рабочего слоя ленты.

Величина объемной концентрации определяется выражением

$$c = \frac{V_{п}}{V_{р.с}},$$

где $V_{п}$ — объем порошка, $м^3$;
$V_{р.с}$ — объем рабочего слоя ленты, $м^3$.

Объем порошка и объем рабочего слоя ленты соответственно равны:

$$V_{п} = \frac{m}{\rho}; \quad V_{р.с} = l в d_{р.с},$$

где l — длина отрезка ленты, $м$;
$в$ — ширина ленты, $м$;
$d_{р.с}$ — толщина рабочего слоя ленты, $м$;
m — масса порошка, $кг$;
ρ — плотность порошка, $кг/м^3$.

Если принять $l = 100$ *см*, $в = 6{,}25$ *мм* и $\rho = 4{,}7$ $т/м^3$, то формула для определения объемной концентрации порошка в рабочем слое ленты примет вид:

$$c = \frac{34\, m_1}{d_{р.с}},$$

где m_1 — масса порошка в погонном метре ленты, *г*;

$d_{р.с}$ — толщина рабочего слоя, *мк*.

Масса порошка в погонном метре ленты может быть определена путем сжигания метрового отрезка ленты в тигле. При этом основа и связующее вещество сгорают, а в тигле остается магнитный порошок. Сжигание производят при температуре около 400° С. Тигель должен быть предварительно доведен до постоянного веса, т. е. до такого состояния, когда продолжающийся нагрев тигля уже не изменяет его собственного веса.

Если известна намагниченность насыщения вещества порошка рабочего слоя $J_{sв}$, то объемная концентрация может быть определена из выражения

$$c = \frac{J_s}{J_{sв}},$$

где J_s — намагниченность насыщения рабочего слоя ленты.

Для определения поправки на внутреннее размагничивающее поле необходимо измерить внутренний размагничивающий фактор. В случае измерения образцов, не имеющих форму тороида, найденное значение размагничивающего фактора будет равно сумме внутреннего (N_i) и внешнего (N) размагничивающих факторов. Обычно при измерении образцов лент и порошков $N_i \gg N$.

Таблица 6

Тип порошка	c	N_i	J_s, *ка/м*		J_r, *ка/м*		
			Измеренное значение	С поправкой на F	Измеренное значение	С поправкой на F	С поправкой на F и N_i
Гамма-окисел	0,31	0,0590	80,5	260	27,1	86,8	116,3
	0,40	0,0534	101,5	254	35,8	90,0	114,0
	0,45	0,0435	129,0	255	45,5	99,0	122,0
Феррит кобальта	0,25	0,0573	73,2	292	36,6	128,2	171,0
	0,41	0,0470	110,2	271	62,2	152,0	170,5
	0,48	0,0430	134,0	279	80,3	167,0	181,5

В табл. 6 приведены значения намагниченности насыщения и остаточной намагниченности порошков в рабочем слое лент типа 1 и типа 2, измеренные на образцах с различной объемной концентрацией порошка. Внесение поправок на сечение и внутренний размагничивающий фактор позволяет в значительной степени уменьшить погрешность измерения из-за различной объемной концентрации.

Магнитные свойства порошка в рабочем слое ленты зависят от магнитных свойств исходного порошка, режима перетира магнитного лака и степени ориентации частиц порошка в рабочем слое.

Магнитные свойства исходных порошков. Знание магнитных свойств исходных порошков очень важно при их разработке, изготовлении и контроле перед приготовлением магнитного лака. Измерение магнитных свойств исходных порошков производится обычно

на образцах, изготовленных путем набивки порошка в стеклянные трубки.

Сравнение магнитных свойств исходных порошков, как и порошков в рабочем слое, удобно производить после пересчета их на стопроцентную концентрацию. Если частицы порошка в рабочем слое ленты ориентированы, то магнитные свойства исходных порошков также желательно измерять в ориентированном состоянии.

Объемная концентрация порошка в трубке может быть определена из выражения

$$c = \frac{V_{п}}{V_{т}} = \frac{m}{\rho\, l_{т} F_{т}} = \frac{m}{\rho\, l_{г}\, \pi\, r_{т}^{2}},$$

где $V_{п}$ — объем порошка, *см*³;
$V_{т}$ — внутренний объем трубки, *см*³;
$l_{т}$ — длина трубки, *см*;
ρ — плотность порошка, *т/м*³;
$r_{т}$ — внутренний радиус трубки, *см*;
m — масса порошка, *г*.

При сопоставлении магнитных свойств порошка в рабочем слое ленты с магнитными свойствами исходного порошка следует учитывать влияние наклепа частиц порошка, происходящего в процессе перетира при приготовлении магнитного лака. При перетире (особенно «сухом») магнитные свойства порошка могут значительно измениться.

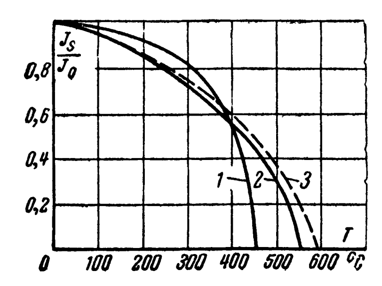


Рис. 16. Зависимость относительной величины намагниченности насыщения от температуры.

1 — лента типа 2; *2* — лента типа Scotch111; *3* — лента типа 6.

Кроме наклепа, перетир может привести к поломке игольчатых частиц порошка, а следовательно, к уменьшению коэрцитивной силы вследствие превращения частиц из однодоменных в многодоменные.

Зависимость магнитных свойств лент от температуры является основной причиной температурной нестабильности ее электроакустических свойств. На рис. 16 приведена зависимость относительной величины намагниченности насыщения некоторых типов лент от температуры. Точка Кюри этих лент находится в интервале температур 460—585° С. Температурная зависимость магнитных свойств некоторых лент приведена также на рис. 17. У лент с порошком рабочего слоя из гамма-окисла железа магнитные свойства в интервале температур от —120 до +80° С монотонно изменяются, причем намагниченность уменьшается сравнительно мало.

Для лент с порошком рабочего слоя из феррита кобальта характерна более сильная зависимость магнитных свойств от температуры, и кривые имеют резко выраженный максимум. С увеличением содержания кобальта (тип 5) максимум смещается в область более высоких температур.

Основная причина температурной зависимости магнитных свойств ферромагнетиков заключается в изменении с температурой константы кристаллографической анизотропии. У порошков феррита кобальта константа кристаллографической анизотропии больше, чем у порошков гамма-окисла железа, поэтому им свойственна более сильная зависимость магнитных свойств от температуры. По этой причине в последние годы порошок феррита кобальта почти не используется при производстве магнитных лент.

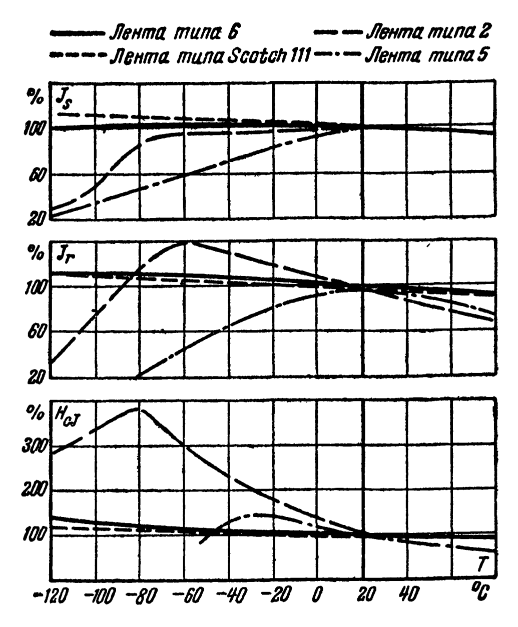


Рис. 17. Температурная зависимость магнитных свойств лент.

Существуют материалы как с положительной, так и с отрицательной константой кристаллографической анизотропии. Вводя в феррит кобальта различные добавки, принципиально можно повысить термостабильность его магнитных свойств. В связи с этим не исключено, что порошки феррита кобальта вновь найдут применение в магнитных лентах.

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕНТ

Краткие сведения о процессе магнитной записи с высокочастотным подмагничиванием. Согласно современным представлениям процесс магнитной записи с высокочастотным подмагничиванием можно рассматривать как частный случай квазиидеального намагничива-

ния. Отличие условий намагничивания головкой записи от квазиидеального намагничивания в соленоиде лишь в том, что в соленоиде рабочий слой ленты намагничивается продольным полем и однородно по толщине, а при намагничивании головкой — менее однородно и кроме продольной составляющей поля головки H_x на рабочий слой действует и перпендикулярная составляющая H_y.

Можно предположить, что намагничивание в основном обусловлено продольной составляющей поля. Эта точка зрения подтверждается также тем, что ориентация частиц порошка рабочего слоя ленты вдоль направления H_x улучшает запись, а вдоль направления H_y ухудшает ее.

Перпендикулярная составляющая поля головки оказывает влияние в основном на поверхностную часть рабочего слоя, ослабляя в ней действие продольной составляющей. Ослабляющее действие перпендикулярной составляющей иллюстрируется рис. 18, на котором приведена зависимость остаточной намагниченности ленты типа 6, предварительно намагниченной продольным полем, от напряженности перпендикулярного поля, действовавшего вслед за продольным. Действие перпендикулярной составляющей должно быть меньше для лент, частицы порошка которых ориентированы в продольном направлении.

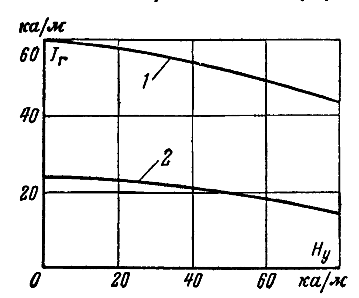


Рис. 18. Уменьшение остаточной намагниченности ленты типа 6 под действием перпендикулярной составляющей поля H_y.

1 — исходная остаточная намагниченность ленты равна 60 *ка/м*; 2 — исходная остаточная намагниченность ленты равна 24 *ка/м*.

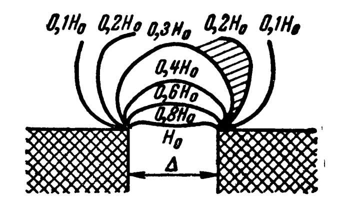


Рис. 19. Линии равных значений продольной составляющей поля над рабочим зазором записывающей головки (критическая зона заштрихована).

Критическая зона. Если допустить, что рабочий слой ленты состоит из равномерно распределенных однородных частиц, то запись будет осуществляться на ленте в том месте, где продольная составляющая поля подмагничивания записывающей головки равна коэрцитивной силе частиц. Практически в рабочем слое ленты содержатся частицы с разной коэрцитивной силой. Поэтому запись происходит в некоторой критической зоне, ограниченной линиями равных значений H_x, соответствующими крайним значениям H_b частиц (рис. 19).

Критическая зона располагается параллельно «сбегающему» ребру записывающей головки в то время как воспроизведение производится всем рабочим зазором головки воспроизведения. Это под-

тверждается экспериментом с универсальной головкой, рабочий зазор которой имеет трапецеидальную форму. Максимальная э. д. с. головки при воспроизведении сделанной ею записи наблюдается в этом случае при наклоне рабочего зазора относительно положения при записи на угол, образованный «сбегающим» ребром и линией симметрии рабочего зазора.

Ширина критической зоны зависит от степени однородности частиц в рабочем слое. Чем однороднее частицы, тем у́же критическая зона. По мере удаления в глубь рабочего слоя критическая зона расширяется. При увеличении подмагничивания критическая зона проникает более глубоко в рабочий слой.

Электроакустические свойства. Свойства носителей магнитной записи, характеризующие его чувствительность к полезным воздействиям в процессе записи, а также искажения сигнала в процессе записи и воспроизведения называют рабочими свойствами. Частным видом рабочих свойств, относящимся только к звукозаписи, являются электроакустические свойства.

К основным электроакустическим свойствам магнитных лент относятся: оптимальное подмагничивание, чувствительность, неоднородность чувствительности, частотная характеристика, нелинейные искажения, уровень записи при заданных нелинейных искажениях, шум размагниченной ленты, шум в паузе записи, шум намагниченной ленты, копирэффект и стираемость.

Оптимальное подмагничивание. Оптимальным называется подмагничивание, при котором чувствительность магнитной ленты максимальна. Величина оптимального подмагничивания зависит от длины волны записи. Обычно ее выбирают для сигнала частотой 400 или 1 000 *гц*.

Чем больше толщина, коэрцитивная сила и внутренний размагничивающий фактор рабочего слоя, определяемый объемной концентрацией порошка, тем больше должно быть оптимальное подмагничивание. Если рабочий слой тонок по сравнению с шириной рабочего зазора головки записи, а частицы достаточно однородны, то при оптимальном подмагничивании поле в рабочем слое не меньше чем H_c. Практически толщина рабочего слоя имеет конечное значение и частицы различны, поэтому оптимум подмагничивания соответствует случаю, когда поле подмагничивания равно коэрцитивной силе ленты в некоторой средней части рабочего слоя. Для экспериментального определения оптимального подмагничивания снимают характеристику подмагничивания, т. е. зависимость отдачи ленты (э. д. с. головки воспроизведения) от тока высокочастотного подмагничивания при неизменном токе записи. Вершина полученной кривой соответствует оптимальному подмагничиванию.

Максимум характеристики подмагничивания тем острее, чем меньше толщина рабочего слоя ленты по отношению к ширине рабочего зазора головки записи, однороднее частицы и короче длина волны записи.

Чувствительность. Это свойство ленты характеризует отношение величины остаточного магнитного потока, получаемого при записи к низкочастотному полю головки, создаваемому током записи.

Чем выше чувствительность ленты, тем меньше должно быть усиление усилителя записи, что особенно важно для малогабаритных магнитофонов, так как позволяет уменьшить его габариты и упростить схему.

Ввиду трудности определения абсолютной чувствительности на практике обычно измеряют относительную чувствительность, равную отношению чувствительности испытуемой ленты к чувствительности типовой ленты.

Так как измерения ведутся при одинаковых токах записи, то для относительной чувствительности справедливо выражение

$$Ч = 20 \lg \frac{U_{и}}{U_{т}}, \ \partial б,$$

где $U_{и}$ — выходное напряжение усилителя воспроизведения при воспроизведении записи на испытуемой ленте;

$U_{т}$ — выходное напряжение усилителя воспроизведения при воспроизведении записи на типовой ленте.

Такой способ определения относительной чувствительности сравнительно прост, однако он требует достаточно однородной типовой ленты. Некоторым недостатком его является также частичная зависимость результатов измерений от ширины рабочего зазора записывающей головки при измерении лент с разной толщиной рабочего слоя.

Неоднородность чувствительности. Чувствительность ленты должна быть достаточно однородна как в пределах одного рулона, так и у различных рулонов ленты одного типа. Неоднородность чувствительности больше ±1 *дб* обнаруживается на слух как изменение громкости и поэтому недопустима. Такие изменения громкости заметны при воспроизведении магнитофильмов, записанных на ленте, склеенной из отрезков разных поливов.

Неоднородность чувствительности в области больших длин волн записи вызывается неравномерностью толщины рабочего слоя ленты и неравномерной концентрацией в нем порошка, а в области малых длин волн, кроме того, неодинаковым качеством поверхности рабочего слоя. Увеличение неоднородности чувствительности при малых длинах волн записи может быть вызвано также наличием пыли на поверхности рабочего слоя ленты.

Наблюдаемые иногда периодические изменения чувствительности магнитных лент по их длине объясняются неравномерностью движения, а также биением барабанов и других вращающихся деталей поливочных машин.

Частотная характеристика. Абсолютная частотная характеристика магнитной ленты, точно так же как и ее абсолютная чувствительность, не может быть измерена, так как в процессе записи неизбежно принимает участие записывающая головка. Поэтому на практике определяют частотную характеристику ленты относительно другой, типовой ленты. Для этого у обеих лент измеряют отношение отдачи на верхней граничной частоте к отдаче на опорной частоте при условии, что ток записи на обеих частотах был одинаков. Разность найденных отношений, выраженных в децибелах, характеризует относительную частотную характеристику испытуемой ленты.

Опорная частота должна быть выбрана на линейном участке частотной характеристики записи-воспроизведения, где ее крутизна близка к 6 *дб/октава.*

Частотная характеристика ленты зависит от ее магнитных свойств, эластичности, толщины, однородности частиц, качества поверхности рабочего слоя и от режима подмагничивания. Если подмагничивание выбрано оптимальным при большой длине волны сиг-

нала, то увеличение толщины рабочего слоя повышает чувствительность на низких частотах и практически не изменяет ее на высоких частотах, т. е. ухудшает частотную характеристику.

Неблагоприятно сказывается на частотной характеристике также действие перпендикулярной составляющей поля подмагничивания, которая особенно уменьшает остаточную намагниченность в поверхностном слое ленты, наиболее важном для высоких частот, и тем самым ухудшает частотную характеристику.

Нелинейные искажения. Нелинейные искажения, вносимые магнитной лентой, являются основной частью суммарных нелинейных искажений, возникающих в канале магнитной звукозаписи. При записи с высокочастотным подмагничиванием они определяются нечетными гармониками, что следует из симметричности кривой квазиидеального намагничивания относительно начала координат. При сравнительно небольших искажениях основную роль играет третья гармоника. Более высокие гармоники имеют значительно меньшую амплитуду. Практически нелинейные искажения ленты оценивают по третьей гармонике. Это удобно еще и тем, что исключается погрешность измерений из-за четных гармоник, обычно возникающих в усилителях.

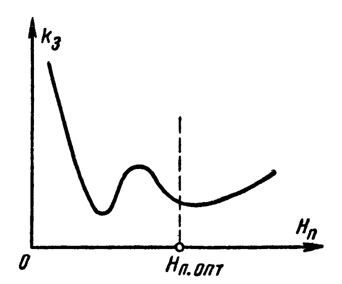


Рис. 20. Типичная зависимость нелинейных искажений от подмагничивания.

Нелинейные искажения, вносимые магнитной лентой, зависят от магнитных свойств порошка рабочего слоя, толщины рабочего слоя и концентрации порошка в нем, степени ориентации частиц порошка и режима записи. Чем больше толщина рабочего слоя и концентрация порошка, тем при данном уровне записи меньше намагниченность и, следовательно, меньше нелинейные искажения.

Кривая зависимости нелинейных искажений по третьей гармонике (k_3) от величины подмагничивания показана на рис. 20. При подмагничивании меньше оптимального рабочий слой ленты намагничен резко неоднородно по толщине. В удаленных от головки частях слоя подмагничивание недостаточно, и кривая намагничивания имеет изгиб начального участка. В ближних частях слоя подмагничивание достаточно, и кривая намагничивания имеет верхний загиб. Возникающие при этом нелинейные искажения обусловлены в обоих случаях третьими гармониками, противоположными друг другу по фазе.

При воспроизведении происходит компенсация третьих гармоник, приводящая к появлению минимума на кривой зависимости нелинейных искажений от подмагничивания (рис. 20). Глубина и положение минимума зависят от длины волны записи, уровня записи и ширины рабочего зазора записывающей головки. Чем больше уровень записи и длина волны и чем у́же рабочий зазор, тем минимум более глубок. При большой длине волны увеличение уровня записи смещает минимум в область меньших значений подмагничивания.

С увеличением подмагничивания компенсация нарушается и нелинейные искажения увеличиваются. При дальнейшем увеличении

подмагничивания нелинейные искажения сначала уменьшаются, а затем снова увеличиваются. Увеличение искажений при подмагничивании больше оптимального вызывается действием перпендикулярной составляющей поля подмагничивания, которая уплощает записанный сигнал сильнее размагничивая участки ленты с большей намагниченностью.

Оценка нелинейных искажений на высоких частотах не может быть произведена методом измерения гармоник, так как последние находятся в этом случае за пределами частотного диапазона канала записи — воспроизведения. Лучше всего использовать для этой цели метод двух тонов. Однако этот метод довольно сложен и на практике часто используют для той же цели измерение амплитудной характеристики. Отклонение ее от линейной является мерой нелинейных искажений, возникающих в ленте.

Уровень записи при заданных нелинейных искажениях. Этот параметр позволяет судить об уровне записи, который может быть достигнут в случаях, когда не обязательно придерживаться стандартного максимального уровня записи, а необходимо получить как можно большее отношение сигнала к шуму паузы. Кроме того, этот параметр позволяет судить о перегрузочной способности ленты. Уровень записи при заданных нелинейных искажениях тем больше, чем меньше вообще нелинейные искажения у данной ленты и чем более полога кривая зависимости нелинейных искажений от уровня записи. Он измеряется относительно стандартного максимального уровня записи.

Шумы. При движении магнитной ленты, не содержащей никакой записи по воспроизводящей головке, в обмотке последней индуктируется напряжение шумов. Это явление вызывается наличием магнитных потоков рассеяния около рабочего слоя ленты даже когда она размагничена.

При записи с высокочастотным подмагничиванием в зависимости от магнитного состояния ленты различают три рода шумов: шум размагниченной ленты, шум ленты, намагниченной постоянным или переменным магнитным полем, и шум паузы.

Шум размагниченной ленты. Под шумом размагниченной ленты понимается шум ленты, размагниченной в конкретном размагничивающем устройстве. Он вызывается неоднородностью частиц порошка и неравномерным распределением их в рабочем слое. Кроме того, этот шум зависит от качества размагничивания. Уровень шума идеально размагниченной ленты служит как бы мерилом ее потенциальной возможности в части собственных помех. При размагничивании ленты в плавно спадающем переменном поле и в отсутствие посторонних полей уровень шума достаточно близок к шуму идеально размагниченной ленты.

Относительный уровень шума современных магнитных лент в размагниченном состоянии сравнительно мал и на выходе стандартных каналов воспроизведения составляет приблизительно —65 *дб* при скорости 38,1 *см/сек* и —55 *дб* при скорости 9,53 *см/сек.*

Практически размагничивание лент часто производится с помощью стирающих головок. В этом случае уровень шума имеет более высокое значение. Шум размагниченной ленты тем больше, чем больше объемная концентрация частиц в рабочем слое и толще рабочий слой. При прочих равных условиях шум ленты тем меньше, чем меньше размеры частиц порошка.

Шум ленты, намагниченной постоянным или переменным полем вызывается неоднородностью частиц порошка, неравномерным распределением их в рабочем слое, неоднородностью толщины рабочего слоя и непостоянством его контакта с магнитными головками. Первые три причины обусловливают так называемую структурную составляющую шума, а последняя — контактную составляющую.

Шум ленты при намагничивании ее переменным полем называется модуляционным шумом.

Структурный шум имеет широкий спектр частот. Так как этот шум связан с неоднородностью рабочего слоя ленты, то закон его изменения по длине ленты сохраняется при повторных намагничиваниях и в принципе структурный шум может быть скомпенсирован, хотя практически это еще не осуществлено. Структурный шум может быть измерен при квазиидеальном намагничивании ленты в однородном магнитном поле, например, в поле соленоида.

Контактный шум вызывается колебаниями ленты у рабочих зазоров головок из-за шероховатости поверхности ее рабочего слоя, неровности поверхности сердечников магнитных головок, жесткости ленты и неравномерности трения ленты о направляющие.

Уровень контактного шума, кроме того, сильно зависит от подмагничивания и, в отличие от структурного шума, в нем преобладают низкочастотные составляющие. Если подмагничивание выбрано меньше оптимального, то границы критической зоны не пересекают полностью рабочий слой ленты. При изменении расстояния между лентой и головкой изменяется эффективная толщина рабочего слоя и его результирующий магнитный поток хаотически изменяется.

Если подмагничивание больше оптимального, то рабочий слой ленты не будет при колебаниях выходить из критической зоны и остаточный поток будет изменяться только из-за неравномерности намагничивания рабочего слоя в пределах критической зоны. Таким образом, при увеличении подмагничивания контактный шум должен уменьшаться. Практически, кривая зависимости контактного шума от подмагничивания имеет обычно явно выраженный минимум, расположенный в области значений подмагничивания больших оптимального.

Контактная составляющая шума может быть определена путем сопоставления энергии структурной составляющей и энергии общего шума намагниченной ленты.

Модуляционный шум возникает из-за хаотической паразитной амплитудной и частотной модуляции, записываемого сигнала. Спектр модуляционного шума содержит боковые полосы, расположенные симметрично относительно частоты записываемого сигнала. Модуляционный шум особенно хорошо прослушивается при воспроизведении записи одиночных, бедных обертонами, инструментов или высокого голоса. Модуляционный шум частично маскируется записываемым сигналом Чем меньше скорость ленты, тем маскировка сильнее. При достаточно малой скорости модуляционный шум воспринимается как быстрые изменения уровня громкости, что особенно заметно при узких дорожках записи.

Модуляционный шум пропорционален намагниченности ленты, поэтому его относительный уровень не зависит от уровня записи. Относительный уровень модуляционного шума при прочих равных условиях зависит от толщины рабочего слоя ленты и концентрации порошка. Чем толще рабочий слой и больше концентрация, тем меньше относительный уровень модуляционного шума. Некоторое умень-

шение относительного уровня модуляционного шума дает увеличение подмагничивания сверх оптимального.

Измерение относительного уровня модуляционного шума может быть произведено в канале воспроизведения с помощью специального режекторного фильтра, не пропускающего основной сигнал и его гармоники. Этот способ сравнительно сложен и на практике обычно измеряют шум ленты при замене низкочастотного тока записи эквивалентным по действующему значению постоянным током в присутствии тока подмагничивания.

Очень быстрые периодические колебания скорости ленты, а также ее собственные продольные колебания субъективно воспринимаются почти так же, как модуляционный шум. Продольные колебания ленты вызываются трением ее о направляющие и головки. Максимальная амплитуда колебаний возникает на собственной частоте натянутого отрезка ленты, которая может быть определена из выражения

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

где l — длина отрезка ленты между левым обводным роликом и ведущим валом, *м*;
E — модуль упругости, *н/м*^{2};
ρ — плотность, *кг/м*^{3}.

Собственные продольные колебания ленты могут быть уменьшены или снижением ее трения о головки или установкой между головками записи и воспроизведения так называемого антишумового ролика. Ролик должен легко вращаться. Угол охвата ролика лентой выбирается минимальным. Благодаря контакту с этим роликом собственные колебания ленты, практически полностью прекращаются.

Шумом паузы $Ш_п$ называется шум размагниченной ленты, подвергнутой действию поля подмагничивания, создаваемого головкой записи. Он вызывается различными причинами. При высокочастотном подмагничивании достаточно, например, очень слабого внешнего магнитного поля (даже поля земли), чтобы возникло заметное намагничивание ленты. Аналогичное явление может наблюдаться в случае асимметрии кривой тока подмагничивания или если сердечник головки был случайно намагничен. Шум, вызванный этими причинами, может быть соответственно уменьшен экранированием записывающей головки, размагничиванием ее сердечника и экрана и подачей небольшого симметрирующего постоянного тока в обмотку головки записи.

Наличие асимметрии магнитного поля записывающей головки может быть легко обнаружено с помощью специальной ленты, имеющей прерывистый рабочий слой, на которой производят запись паузы. Измерение напряжения на выходе усилителя воспроизведения желательно производить в этом случае селективным электронным вольтметром, настроенным на частоту прерываний рабочего слоя движущейся ленты.

При наличии склеек паразитная намагниченность ленты обнаруживается в виде щелчков, слышимых в громкоговорителе, включенном на выходе усилителя воспроизведения. В месте склеек постоянный магнитный поток ленты изменяется скачком, выходит частично наружу, пересекает обмотку головки и индуктирует в ней э. д. с.

Однако даже при полном устранении причин, вызывающих паразитное намагничивание ленты, шум паузы остается на несколько

децибел выше шума размагниченной ленты. Существуют предположения, что другими причинами шума паузы являются соизмеримость протяженности поля записывающей головки с размерами магнитных частиц, из-за чего не происходит идеального размагничивания ленты, а также запись, хотя и весьма ослабленная, самого подмагничивания. Интересно отметить, что если в процессе записи паузы отодвинуть ленту всего на 5—10 *мк* от сердечника записывающей головки, увеличив одновременно поле подмагничивания на столько, на сколько оно уменьшилось из-за удаления ленты, то шум паузы уменьшается и делается приблизительно равным шуму размагниченной ленты. К сожалению, при этом существенно ухудшается частотная характеристика записи.

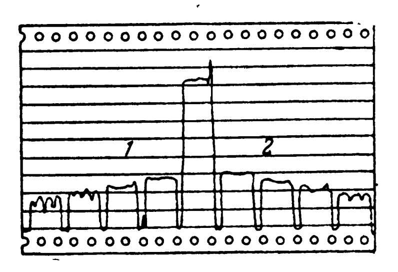


Рис. 21. Уровнеграмма копирэффекта.

1 — запаздывающее эхо; *2* — опережающее эхо.

Копирэффект. Сущность копирэффекта заключается в том, что при хранении магнитофильма, намотанного на катушку или сердечник, сильно намагниченные участки ленты намагничивают смежно расположенные с ними участки, особенно если последние соответствуют паузе между записываемыми сигналами. При воспроизведении записи одиночного звукового сигнала кроме него будут слышны также сигналы-копии, воспринимаемые на слух как эхо. Сигналы копии возникают как до основного сигнала («опережающее эхо»), так и после него («запаздывающее эхо»). Уровнеграмма копирэффекта приведена на рис. 21.

Опережающий и запаздывающий сигналы-копии имеют разные величины. Если лента намотана рабочим слоем наружу, то каждый опережающий сигнал-копия слабее соответствующего запаздывающего; если лента намотана рабочим слоем внутрь рулона, то опережающие сигналы-копии сильнее запаздывающих[1]. Это явление качественно можно объяснить неоднородностью магнитного поля основного сигнала по толщине рабочего слоя в том месте ленты, где образуются сигналы-копии. Вследствие неоднородности в зависимости от взаиморасположения рабочих слоев в рулоне ленты при образовании сигналов-копий оказываются намагничены более сильно или внешние или внутренние части рабочего слоя. В первом случае каждый сигнал-копия получается более сильным.

Относительный уровень копирэффекта (*КЭ*) зависит от магнитных свойств ленты, ее общей толщины, толщины рабочего слоя, длины волны записи, времени копирования и температуры окружающего воздуха

$$КЭ \approx 20 \lg \left(\frac{\pi d_{р.с}}{\lambda} e^{-\frac{2\pi d_л}{\lambda}} Akt \ln 2 \frac{t}{\tau_0} \right),$$

[1] Имеется в виду, что магнитофильм снимается на хранение с подающего узла лентопротяжного механизма.

где $d_{р.с}$ — толщина рабочего слоя, *мк*;
$d_л$ — общая толщина ленты, *мк*;
λ — длина волны, записи, *мк*;
A — коэффициент, зависящий от магнитных свойств и размеров частиц (для ленты типа Scotch 111 $A \approx 10^{20}$);
k — постоянная Больцмана, равная $1,38 \cdot 10^{-23}$, *дж/град*;
T — абсолютная температура, равная $T° C + 273$;
τ_0 — постоянная времени процесса намагничивания частицы, *сек*, равная приблизительно 30 *сек*.
t — время, *сек*.

При увеличении длины волны записи относительный уровень копирэффекта сначала растет, при $\lambda = 2\pi d_л$ достигает максимума, а затем уменьшается. В области больших длин волн, когда $\frac{2\pi d_л}{\lambda} \ll 1$, это уменьшение составляет 6 *дб* на октаву. При увеличении толщины рабочего слоя относительный уровень копирэффекта сначала растет, при $2\pi d_{р.с} = \lambda$ достигает максимума, а затем уменьшается. Уменьшение относительного уровня копирэффекта при переходе на следующий, более удаленный виток рулона ленты равно:

$$\Delta КЭ = \frac{2\pi d_л}{\lambda}.$$

Экспериментальная зависимость копирэффекта от уровня записи приведена в табл. 7. Как видно из таблицы, относительный уровень копирэффекта у порошковых магнитных лент практически не зависит от уровня записи.

Таблица 7

Уровень записи, *нвб/м*	Относительный уровень копирэффекта, *дб*	
	Лента СН	Лента Scotch111
20	—	—49,4
40	—49,0	—49,4
80	—49,1	—49,7
160	—49,3	—50,4
320	—49,5	—50,5
480	—49,0	—50,7

Временные зависимости копирэффекта. Из приведенного выше общего выражения для относительного уровня копирэффекта следует, что его рост со временем вначале происходит достаточно быстро, а затем все более медленно. Экспериментально полученные зависимости увеличения копирэффекта со временем приведены на рис. 22.

Если до начала воспроизведения размотать рулон ленты, то сигналы-копии постепенно ослабевают. Это объясняется тем, что за время между прекращением копирования и воспроизведением обратимая часть намагниченности сигналов-копий уменьшается до полного исчезновения и остается только необратимая часть намагниченности. На рис. 23 приведена экспериментальная зависимость относительного уровня копирэффекта от времени, прошедшего с момента, когда лента смотана с рулона, до воспроизведения.

Связь копирэффекта с магнитными свойствами рабочего слоя ленты и последействием. Относительный уровень копирэффекта при заданном поле копирования определяется магнитными свойствами рабочего слоя ленты и явлением последействия. Последействие приводит к тому, что намагниченность, соответствующая данному полю, или ее остаточное значение достигаются не сразу, а через некоторое

время после начала или прекращения действия поля. У порошков, используемых для изготовления рабочего слоя лент, явление последействия выражено довольно резко. Магнитное последействие особенно существенно в слабых полях и поэтому сильно влияет на процесс копирования. При копирэффекте основную роль играет флуктуационное последействие, представляющее собой последовательное

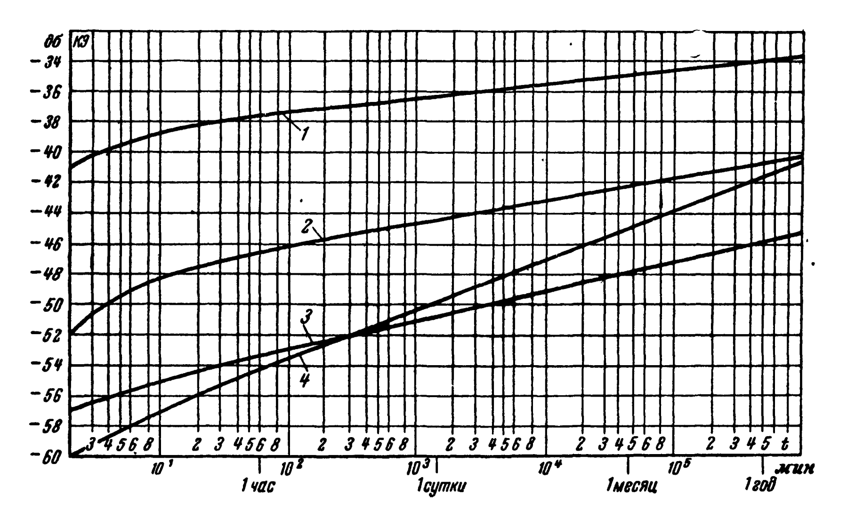


Рис. 22. Зависимость относительного уровня копирэффекта от времени копирования.

1 и *2* — ленты типа С разных поливов, *3* — лента типа Scotch 111; *4* — лента типа СН.

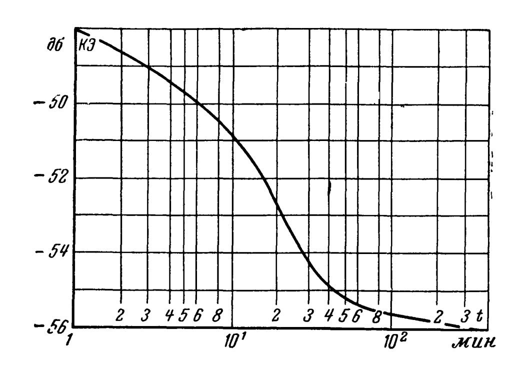


Рис. 23. Зависимость копирэффекта от времени, прошедшего с момента прекращения копирования до воспроизведения.

преодоление энергетических барьеров под влиянием тепловых флуктуаций и внешнего поля.

Температурная зависимость копирэффекта. Относительный уровень копирэффекта существенно зависит от температуры, что в основном объясняется изменением магнитных свойств порошка рабочего слоя. Температурная зависимость копирэффекта для ряда лент приведена на рис. 24. Эта зависимость линейна в довольно широком интервале температур, поэтому при измерении копирэффекта при температуре, отличной от 20° С, в результаты измерений должна быть внесена поправка; для лент типа 2 и 6 она составляет соответственно 0,4 и 0,3 *дб*/° С.

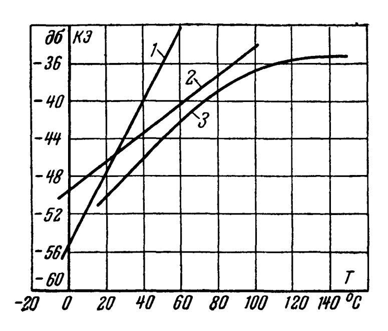


Рис. 24. Зависимость копирэффекта от температуры.

1 — лента типа 2; 2—лента типа 1; 3 — лента типа С.

Влияние внешних магнитных полей. При воздействии на магнитофильм переменным или постоянным магнитным полем обнаруживается увеличение относительного уровня копирэффекта (табл. 8). Это явление объясняется тем, что внешнее поле действует как поле подмагничивания, повышая чувствительность ленты. При очень сильном поле происходит размагничивание ленты и частичное стирание сигналов основной записи.

Таблица 8

Напряженность поля, *ка/м*	0	1,75	2,1	2,7	3,8	5,1	6,7	8,5	11
Относительный уровень копирэффекта, *дб*	—44,8	—44	—43,5	—39	—36	—33,6	—28	—21	—17
Ослабление сигналов, основной записи, *дб*	0	0	0	0	0	—1	—3	—9	—37,5

Влияние возбуждения ленты. В процессе записи на ленту воздействуют высокочастотные поля размагничивания (стирания) и подмагничивания. Под их влиянием начальная проницаемость ленты увеличивается (эффект возбуждения), что вызывает увеличение копирэффекта (табл. 9). Как показывает опыт, для полного возбуждения ленты достаточно подействовать на нее одним из названных высокочастотных полей. Второе поле уже не увеличивает магнитную

проницаемость. После прекращения действия возбуждающего поля проницаемость ленты уменьшается до исходного значения, однако это уменьшение происходит лишь через некоторое время. Зависи-

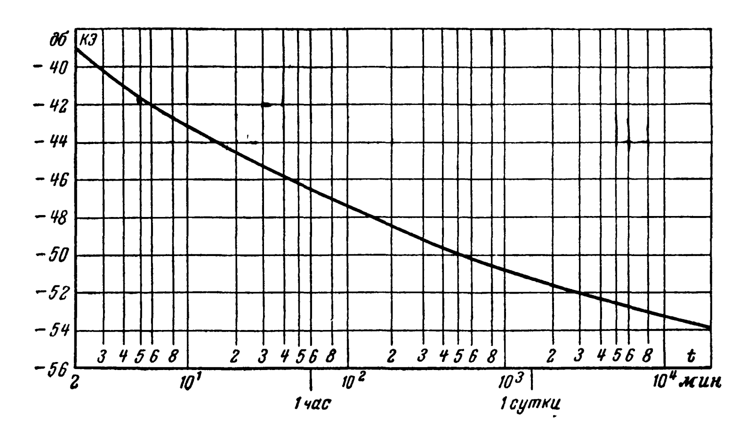


Рис. 25. Зависимость копирэффекта от времени, прошедшего с момента возбуждения до начала копирования.

мость относительного уровня копирэффекта от времени, прошедшего с момента возбуждения до начала копирования, приведена на рис. 25. Влияние возбуждения особенно проявляется при сравнительно низких температурах. При достаточно высокой температуре (около 150° С) тепловые флуктуации настолько велики, что относительные уровни копирэффекта невозбужденной и возбужденной ленты практически равны (рис. 26). В этом случае высокочастотное возбуждение уже ничего не может добавить к тепловому. С увеличением времени копирования разница относительных уровней копирэффекта невозбужденной и возбужденной лент также уменьшается (рис. 27).

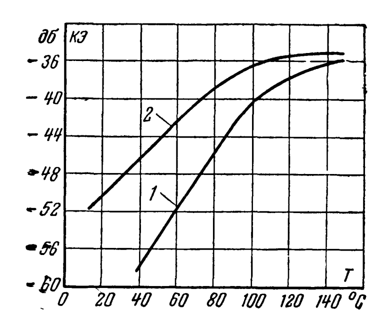


Рис. 26. Копирэффект невозбужденной (*1*) и возбужденной (*2*) лент.

Стираемость. В устройствах магнитной звукозаписи стирание чаще всего производится путем размагничивания ленты в плавно уменьшающемся переменном магнитном поле. Схематически этот процесс показан на рис. 28. Элемент ленты, имеющий остаточную намагниченность J_r', последовательно перемагничивается по частным циклам *1—2—...—11—12*, возрастающим до предельной петли гистерезиса. При последующем уменьшении напряженности поля намаг-

ниченность постепенно уменьшается до нуля по частным циклам *12—13—...—20—21*. Если максимальная напряженность поля достаточно велика и поле спадает плавно, то данный способ обеспечивает хорошее размагничивание, т. е. малый относительный уровень стирания. Стираемость зависит от параметров размагничивающего устройства,

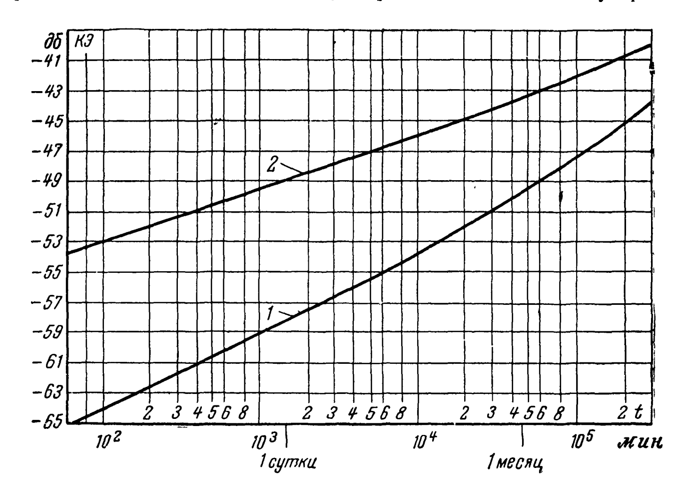


Рис. 27. Зависимость копирэффекта от времени копирования.

1 — невозбужденная лента; *2* — возбужденная лента.

магнитных свойств ленты, предшествовавшего режима записи и условий хранения магнитофильма. Если напряженность поля недостаточна для полного размагничивания ленты, то уровень остающегося сигнала в первом приближении пропорционален уровню записи, другими словами остаточный поток ленты уменьшается примерно в одинаковое число раз независимо от уровня записи.

Таблица 9

Тип ленты	Относительный уровень копирэффекта, *дб*		Прирост относительного уровня копирэффекта из-за возбуждения, *дб*	Относительный уровень копирэффекта, *дб*. Время с момента возбуждения до начала копирования	
	Невозбужденная лента	Возбужденная лента		1 *мин*	550 *ч*
СН	—58,5	—50,5	8	—48	—57
Scotch 111	—58,5	—53,3	5,2	—55,6	—57,9
Scotch 120	—54,3	—49,8	4,5	—50,8	—55,2
Scotch 190	—52,6	—49,1	3,5	—51	—53,3

Влияние высокочастотного подмагничивания. Зависимость относительного уровня стирания (C) от подмагничивания приведена на рис. 29. Чем с большим подмагничиванием была сделана запись, тем труднее ее размагнитить. Объясняется это тем, что подмагничивание стабилизирует запись и способствует образованию в ленте более прочной текстуры. Кроме того, при записи с бо́льшим подмагничиванием используются частицы с большей коэрцитивной силой и увеличивается намагниченность дальних слоев рабочего слоя ленты, которые хуже размагничиваются головкой.

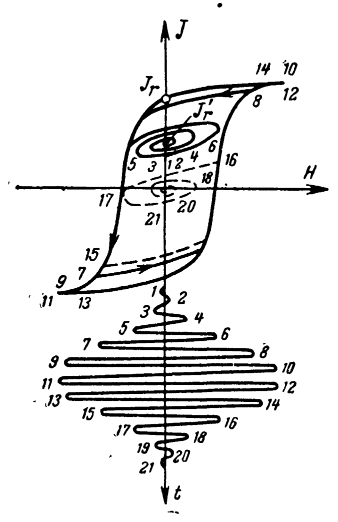


Рис. 28. К объяснению процесса размагничивания.

Влияние времени хранения. Чем больше время хранения магнитофильма, тем труднее его размагнитить (рис. 30), что объясняется явлением последействия. Ход приведенных кривых соответствует общим представлениям теории последействия — сначала наблюдаются быстрые изменения, а затем все более медленные.

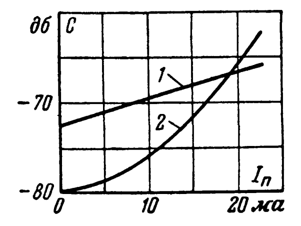


Рис. 29. Зависимость относительного уровня стирания от подмагничивания.

1 — размагничивание головкой; *2* — размагничивание электромагнитом.

Влияние повторных размагничиваний. Если условия размагничивания недостаточны для полного уничтожения записи, то наблюдается уменьшение уровня остающегося сигнала при повторном и многократном размагничиваниях (рис. 31). При размагничивании в соленоиде влияние повторных размагничиваний меньше, чем при размагничивании головкой.

При размагничивании головкой может происходить перезапись, заключающаяся в том, что размагниченный элемент ленты вновь намагничивается под влиянием поля соседнего, еще неразмагниченного участка, причем намагничивание будет квазиидеальным и будет происходить в критической зоне, как и во время записи. В результате соответствующего сдвига фаз между нестертым и перезаписанным сигналами наблюдается компенсация. Степень компенсации зависит от длины волны записи и напряженности размагничивающего поля. При слабом поле преобладает нестертый сигнал, при большом — перезаписанный. Чем больше длина волны записи, тем больше уровень перезаписанного сигнала.

Восстановление записи. При достаточной напряженности размагничивающего поля и плавности его спадания магнитофильм может быть размагничен настолько, что запись не будет обнаруживать-

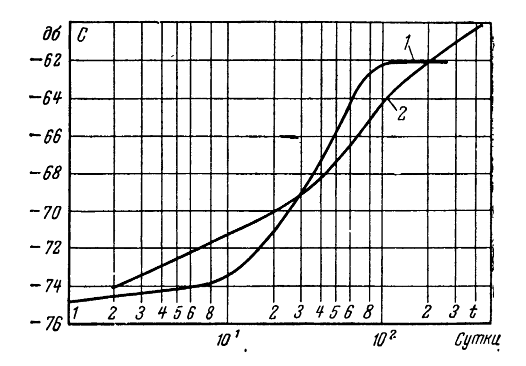


Рис. 30. Зависимость относительного уровня стирания от времени хранения магнитофильма, записанного на ленте типа 2.

1 — размагничивание электромагнитом; *2* — размагничивание головкой.

ся даже при прослушивании с большим усилением. Однако при попытке сделать на размагниченной ленте новую запись иногда наблюдается под действием подмагничивания восстановление старой записи, хорошо слышимой в паузах новой записи. Степень восстановления зависит от времени хранения магнитофильма и свойств порошка рабочего слоя ленты. У ленты типа 2 восстановление достигает в некоторых случаях 25 *дб*. У лент со слабым последействием, это явление почти не наблюдается.

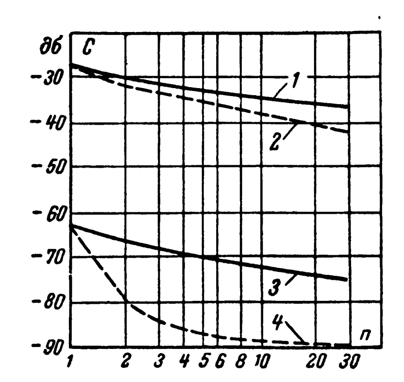


Рис. 31. Зависимость относительного уровня стирания от числа размагничиваний.

1 — размагничивание электромагнитом ленты типа 2; *2* — размагничивание головкой ленты типа 2; *3* — размагничивание электромагнитом ленты типа С; *4* — размагничивание головкой ленты типа С.

Степень восстановления зависит от направления движения ленты. Если лента при восстановлении движется в том же направлении, что и ранее при записи, то восстановление выражено более резко, чем в случае, когда лента движется в противоположном направлении. Разница в степени восстановления достигает 10 *дб*.

Влияние температуры. Чем выше температура, тем легче

размагнитить магнитофильм, что объясняется уменьшением коэрцитивной силы ленты с увеличением температуры.

Зависимость электроакустических свойств от режима записи. Электроакустические свойства в значительной степени зависят от максимального уровня записи, подмагничивания и ширины рабочего зазора записывающей головки.

Максимальный уровень записи. Чем выше максимальный уровень записи, тем меньше относительный уровень шума паузы, но больше нелинейные искажения и наоборот. Следовательно, выбор максимального уровня определяется некоторым компромиссом между нелинейными искажениями и шумом паузы. Если не предусматривается обмен магнитофильмами, то максимальный уровень записи может выбираться в каждом конкретном случае в зависимости от электроакустических свойств используемой магнитной ленты и уровня шума усилителя воспроизведения.

В радиовещании изменение максимального уровня записи затрудняет обмен магнитофильмами и усложняет их использование, поэтому максимальный уровень записи выбирается на длительный период и изменяется лишь в случае разработки новых, значительно лучших магнитных лент или при переходе на новую скорость движения ленты при записи и воспроизведении. В советском радиовещании за максимальный уровень записи принят уровень 256 *нвб/м** для скорости 38,1 *см/сек* и меньше. За рубежом в большинстве стран максимальный уровень записи соответствует 320 *нвб/м* для скоростей 38,1 и 19,05 *см/сек* и 256 *нвб/м* для скорости 9,53 *см/сек.* При испытании электроакустических свойств магнитных лент в Советском Союзе и в зарубежных странах за максимальный уровень записи принят уровень, соответствующий 320 *нвб/м* для скорости 38,1 *см/сек* и 256 *нвб/м* для скорости 9,53 *см/сек.*

Зависимость нелинейных искажений от уровня записи определяется многими причинами и не может быть аппроксимирована одной кривой. При записи с большой длиной волны ($\lambda \approx 1$ *мм*) начальный участок этой кривой для большинства лент достаточно хорошо соответствует уравнению $y=x^2$, для $\lambda \approx 0{,}25$ *мм* более подходит линейная зависимость ($y=kx$). При бóльших уровнях записи зависимость нелинейных искажений от уровня записи у большинства лент может быть аппроксимирована уравнением $y=x^{3/2}$.

Подмагничивание. Для большинства лент значения подмагничивания, соответствующие максимуму чувствительности, минимуму нелинейных искажений и минимуму шума намагниченной ленты, не совпадают, поэтому выбор подмагничивания определяется компромиссным путем. Лишь у ленты типа PER525 оптимальный ток подмагничивания соответствует минимуму нелинейных искажений и минимуму шума намагниченной ленты. В студийных магнитофонах номинальное подмагничивание, т. е. установленное в аппарате, как правило, выбирается по минимуму шума намагниченной ленты, в бытовых — как компромисс между нелинейными и частотными искажениями.

На практике в студийных магнитофонах номинальное подмагничивание устанавливают равным 1,2 от оптимального значения для сигнала частотой 400 *гц*, а в бытовых магнитофонах — равным оптимальному значению для сигнала частотой 1000 *гц*.

---

* Уровень записи выражается в единицах остаточного магнитного потока на 1 *м* ширины дорожки записи.

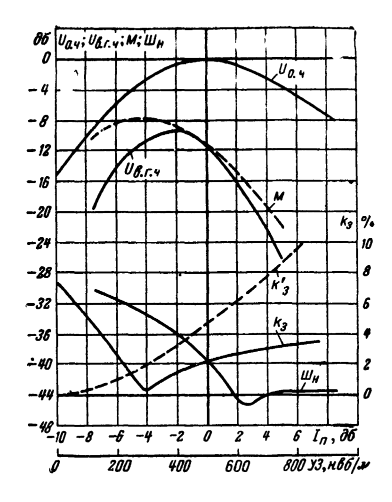


Рис. 32. Лента типа 2, $v = 38{,}1$ *см/сек.*

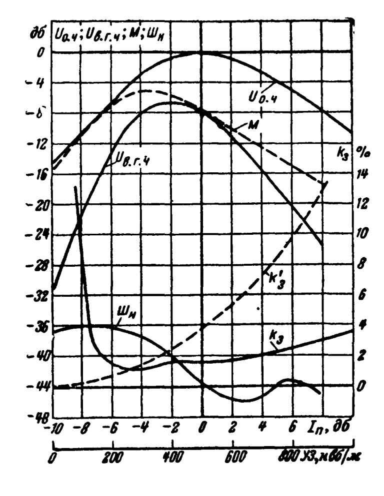


Рис. 33. Лента типа 6, $v = 38{,}1$ *см/сек.*

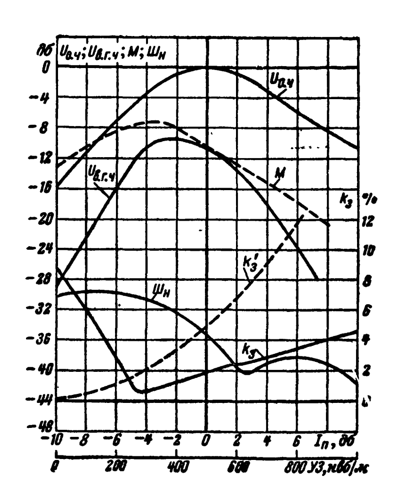


Рис. 34. Лента типа CR50 U6, $v = 38{,}1$ *см/сек.*

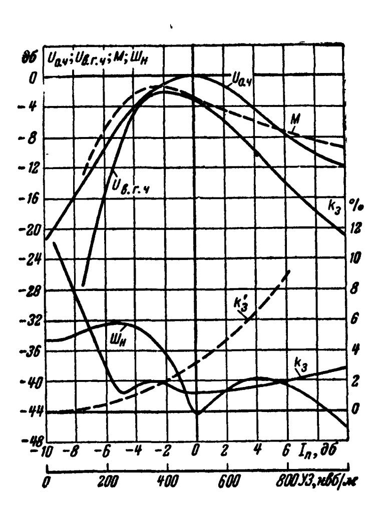


Рис. 35. Лента типа PER525, $v = 38{,}1$ *см/сек.*

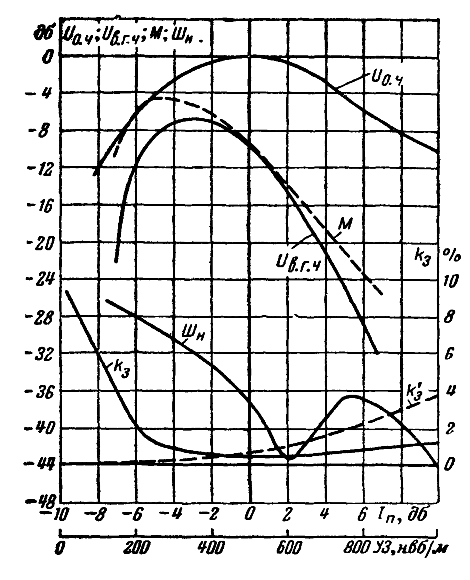


Рис. 36. Лента типа PER555, $v=38{,}1$ *см/сек.*

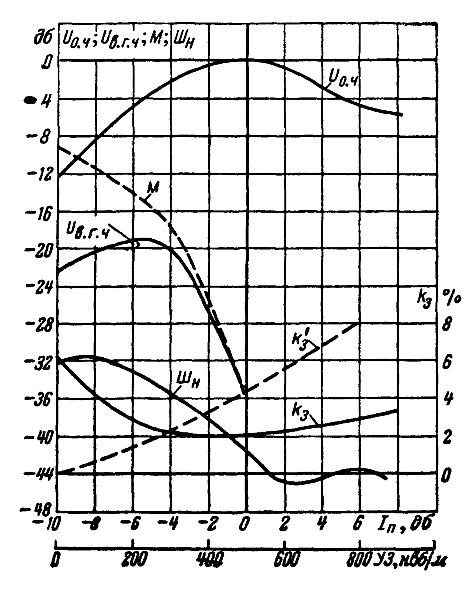


Рис. 37. Лента типа 2, $v=9{,}53$ *см/сек.*

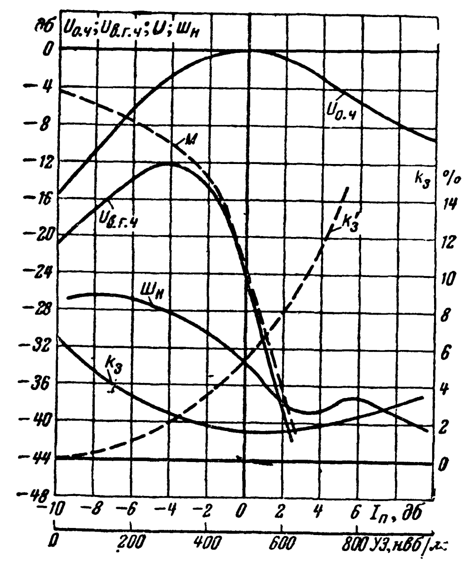


Рис. 38. Лента типа 6, $v = 9{,}53$ *см/сек.*

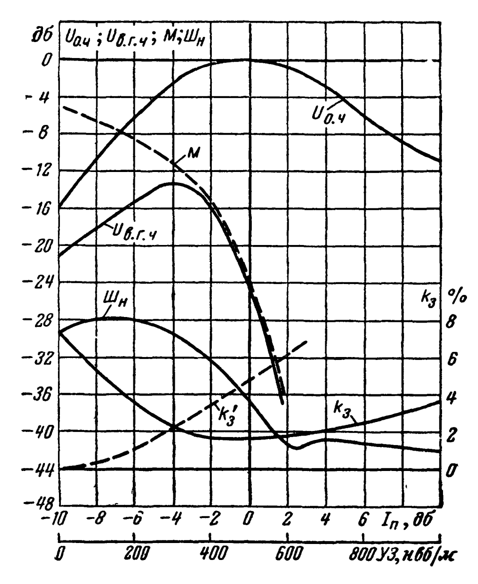


Рис. 39. Лента типа CR35 U6, $v = 9{,}53$ *см/сек.*

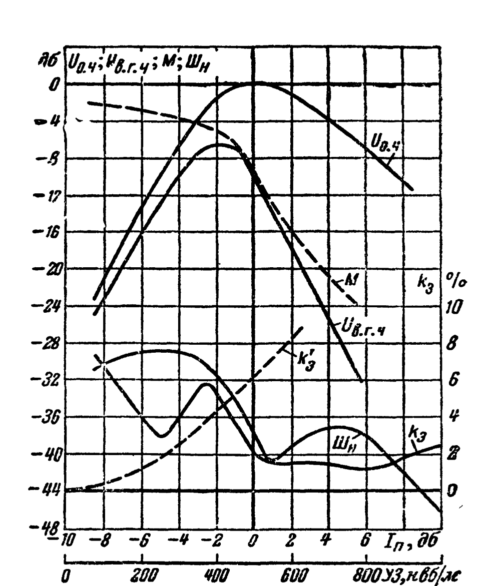


Рис. 40. Лента типа CS35 U6, $v = 9{,}53$ *см/сек.*

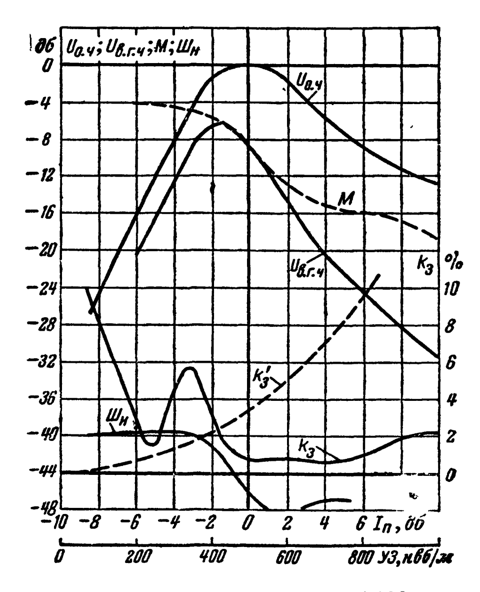


Рис. 41. Лента типа Scotch190, $v = 9{,}53$ *см/сек.*

Зависимости отдачи на опорной $U_{о.ч}$ и верхней граничной $U_{в.г.ч}$ частоте, завала частотной характеристики M, нелинейных искажений k_3 и шума намагниченной ленты ($Ш_н$) некоторых типов лент от отношения тока подмагничивания к оптимальному приведены на рис. 32—41. На этих же рисунках представлена зависимость коэффициента третьей гармоники k'_3 от уровня записи $УЗ$.

Ширина рабочего зазора записывающей головки также оказывает большое влияние на электроакустические свойства магнитных лент. Если она меньше толщины рабочего слоя, то последний намагничивается при оптимальном подмагничивании неоднородно даже при сравнительно длинных волнах записи. При относительно узком рабочем зазоре оптимальное подмагничивание для сигналов с большой и малой длиной волны записи не одинаково. Характеристика подмагничивания при записи сигнала с большой длиной волны имеет в этом случае плоскую вершину и определить ее максимум затруднительно.

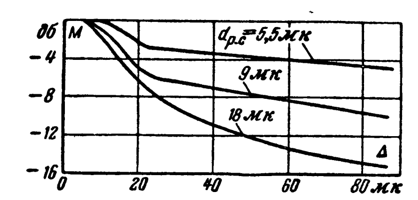


Рис. 42. Зависимость завала M частотной характеристики на верхней граничной частоте от ширины Δ рабочего зазора записывающей головки и толщины $d_{р.с}$ рабочего слоя ленты.

При относительно широком зазоре величины оптимального подмагничивания на длинных и коротких волнах сближаются и максимум характеристики подмагничивания делается более острым. Вследствие этого при испытании электроакустических свойств лент ширина рабочего зазора записывающей головки выбирается сравнительно большой (20 *мк*).

Нелинейные искажения при увеличении ширины рабочего зазора записывающей головки, с одной стороны, уменьшаются вследствие более равномерного намагничивания рабочего слоя, с другой, растут из-за увеличения действия перпендикулярной составляющей поля подмагничивания. На практике чаще всего превалирует влияние перпендикулярной составляющей, и расширение рабочего зазора сверх размера, равного толщине рабочего слоя ленты, приводит к увеличению нелинейных искажений.

Частотная характеристика лент сравнительно мало зависит от ширины рабочего зазора, если подмагничивание выбрано оптимальным для длинных волн записи. В случае выбора подмагничивания оптимальным для малых длин волн ($\lambda \approx 15$ *мк*) частотная характеристика улучшается с уменьшением ширины рабочего зазора и тем больше, чем толще рабочий слой ленты (рис. 42). Следует однако помнить, что такой выбор подмагничивания сокращает используемую часть рабочего слоя и уменьшает отдачу ленты на длинных волнах записи или при неизменной отдаче увеличивает нелинейные искажения.

В магнитофонах с универсальными головками ширина рабочего зазора выбирается из соображений допустимых щелевых искажений при воспроизведении на верхней граничной частоте. Оптимальные условия записи при этом не всегда удается обеспечить.

Зависимость электроакустических свойств ленты от температуры. Использование аппаратуры магнитной записи в различных климатических условиях предъявляет соответствующие требования к температурной стабильности магнитных лент.

Влияние температуры на копирэффект и стираемость было описано выше. Шум размагниченной ленты и шум паузы от температуры практически не зависят. Наиболее сильная температурная зависимость наблюдается у оптимального подмагничивания, чувствительности, частотной характеристики и шума намагниченной ленты. Влияние температуры на эти электроакустические свойства вызвано как изменением магнитных свойств порошка рабочего слоя, так и частично изменением формы ленты.

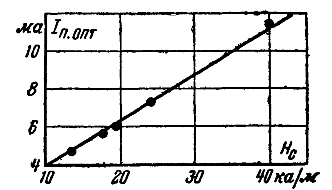


Рис. 43. Зависимость оптимального подмагничивания от коэрцитивной силы ленты.

Увеличение сабельности вызывает перекос ленты относительно рабочих зазоров головок и, следовательно, ухудшает частотную характеристику. Увеличение коробления нарушает контакт ленты с магнитными головками, что ухудшает частотную характеристику и изменяет режим подмагничивания. В свою очередь изменение подмагничивания приводит к изменению других электроакустических свойств.

Влияние температуры на магнитные свойства порошка рабочего слоя проявляется в основном в изменении величины оптимального подмагничивания вследствие изменения коэрцитивной силы порошка. Вызванные этим изменения электроакустических свойств ленты можно в значительной степени скомпенсировать соответствующей регулировкой подмагничивания. Автоматическая компенсация может быть осуществлена путем введения в схему терморезистора или конденсатора.

Проблема термостабильности электроакустических свойств лент, бывшая очень актуальной несколько лет тому назад, в настоящее время в значительной мере утратила свое значение. Объясняется это тем, что в последние годы используется сравнительно термостойкая полиэтилентерефталатная основа, а рабочий слой современных лент изготавливается из порошка-гамма окисла железа, термостабильность коэрцитивной силы которого достаточно велика.

Связь между электроакустическими и магнитными свойствами лент. В настоящее время еще не установлена четкая зависимость между электроакустическими и магнитными свойствами лент. Приведенные ниже данные являются результатом попытки накопить экспериментальный материал.

Оптимальное подмагничивание. На рис. 43 приведена зависимость оптимального подмагничивания от коэрцитивной силы ленты. В данном эксперименте влияние остальных факторов было исключено. С этой целью измерения проводились на одной и той же ленте, а коэрцитивная сила изменялась путем изменения температуры. Если производить измерения на лентах с разной толщиной рабочего слоя, то зависимость оптимального подмагничивания от коэрцитивной силы делается менее четкой и точки располагаются хаотично

(рис. 44). Внесение поправки на толщину рабочего слоя значительно улучшает выявление этой зависимости.

Чувствительность. Зависимость чувствительности ленты при записи с высокочастотным подмагничиванием (*Ч*) от максимальной крутизны $S_к\Phi_r$ кривой остаточного потока при квазиидеальном намагничивании, измеренной в соленоиде для разных лент, приведена на рис. 45. При внесении поправки на толщину рабочего слоя эта зависимость делается более четкой. Для записывающей головки с шириной рабочего зазора 20 *мк* поправка равна:

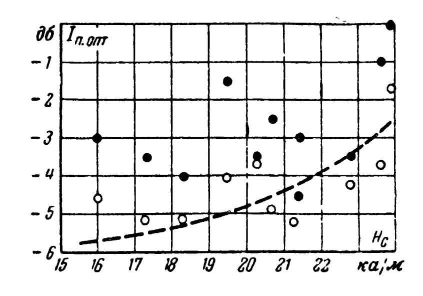


Рис. 44. Зависимость оптимального подмагничивания от коэрцитивной силы, измеренная для лент разных типов.

●●● — без внесения поправки на толщину рабочего слоя; ○○○ — с внесением поправки.

Рис. 45. Зависимость относительной чувствительности ленты от максимальной крутизны $S_k\Phi_r\left(\frac{нвб}{ка/м}\right)$ кривой остаточного потока при квазиидеальном намагничивании.

●●● — без внесения поправки на толщину рабочего слоя, ○○○ — с внесением поправки.

$$\psi = \frac{6}{\sqrt[3]{d^2_{р.с}}}.$$

Частотная характеристика. Предполагается, что частотная характеристика определяется степенью однородности частиц порошка рабочего слоя по коэрцитивной силе. Однако большое количество факторов, влияющих на чувствительность при больших и малых длинах волн записи, искажает эту зависимость. В связи с этим частотная характеристика с точки зрения установления связи с магнитными свойствами является пока, пожалуй, самым «трудным» параметром.

Нелинейные искажения и уровень записи при $k_3=3\%$. Для испытанных типов лент наблюдается зависимость данных параметров от остаточного потока насыщения Φ_r и максимальной крутизны $S\Phi_r$ кривой остаточного потока. Эта зависимость делается несколько более четкой, если учитывается суммарное влияние обоих магнитных свойств (рис. 46).

Относительный уровень стирания. Если размагничивающее поле, создаваемое, например, соленоидом, однородно по толщине ра-

бочего слоя, но недостаточно велико для полного размагничивания, то наблюдается явная зависимость относительного уровня стирания от коэрцитивной силы ленты по остаточной намагниченности (рис. 47). При размагничивании стирающей головкой эта зависимость выражена обычно менее четко.

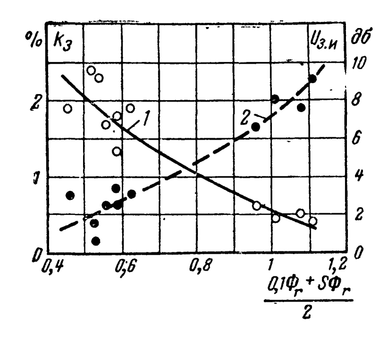


Рис. 46. Зависимость нелинейных искажений (*1*) и уровня записи при $K_з=3\%$ (*2*) от остаточного потока насыщения $Ф_r$ (*нвб*) и максимальной крутизны $SФ_r$ $\left(\frac{нвб}{ка/м}\right)$ кривой остаточного потока.

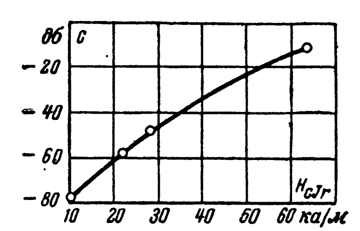


Рис. 47. Зависимость относительного уровня стирания от коэрцитивной силы ленты по остаточной намагниченности.

В заключение можно отметить, что для получения хороших электроакустических свойств, кривая остаточной намагниченности ленты должна иметь возможно более пологий начальный участок, большую крутизну линейного участка и возможно большую его протяженность.

Зависимость электроакустических свойств лент от толщины рабочего слоя и концентрации порошка. На рис. 48 и 49 приведены экспериментально полученные зависимости копирэффекта (*КЭ*), относительной чувствительности (*Ч*), завала частотной характеристики (*М*), шумов паузы ($Ш_п$) и намагниченной ленты ($Ш_н$), коэффициента нелинейных искажений ($k_з$) и тока оптимального подмагничивания ($I_п$) ленты типа 2 от толщины рабочего слоя и объемной концентрации порошка. Качественно такие же зависимости должны наблюдаться и для других типов лент.

Чем толще рабочий слой, тем при прочих равных условиях лучше чувствительность, нелинейные искажения и шум намагниченной ленты и хуже частотная характеристика и копирэффект.

Чем больше объемная концентрация порошка в рабочем слое, тем при прочих равных условиях лучше чувствительность, нелинейные искажения, шум намагниченной ленты и частотная характеристика и хуже копирэффект. Оптимальное подмагничивание с увеличением толщины рабочего слоя увеличивается, а с увеличением концентрации порошка уменьшается.

Таким образом, выбор толщины рабочего слоя и концентрации порошка всегда производится компромиссным путем и зависит от назначения ленты. На практике следует стремиться к возможно большей концентрации и минимальной толщине рабочего слоя.

Физико-механические свойства лент. При прохождении магнитной ленты по тракту лентопротяжного механизма магнитофона

она подвергается механическим воздействиям. Эти воздействия имеют наибольшее значение в моменты пуска и остановки аппарата и при ускоренной перемотке. Как правило, они больше в магнитофонах, работающих при высоких скоростях. Кроме того, вследствие

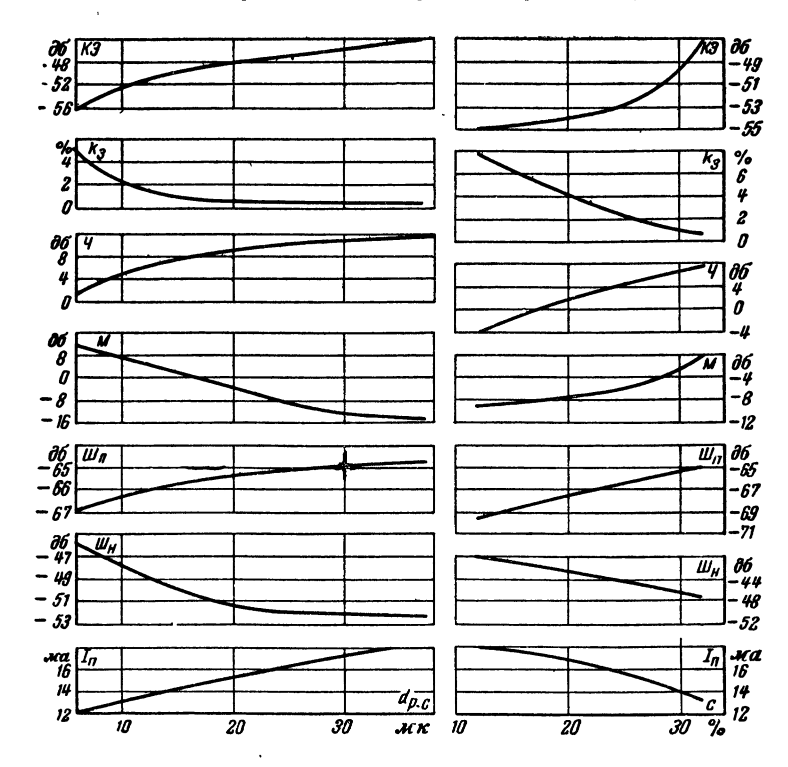


Рис. 48. Зависимость электроакустических свойств ленты типа 2 от толщины рабочего слоя.

Рис. 49. Зависимость электроакустических свойств ленты типа 2 от объемной концентрации порошка в рабочем слое.

трения рабочего слоя ленты о магнитные головки происходит их взаимный износ.

Для того чтобы успешно противостоять возникающим механическим нагрузкам, лента должна обладать соответствующими физико-механическими свойствами. Основными физико-механическими свойствами лент являются: нагрузка, соответствующая пределу текучести, относительное удлинение под нагрузкой, остаточное удлинение, работа ударного разрыва, остаточное удлинение после ударной нагрузки, адгезионная прочность, абразивность, тепло- и влагостойкость длины.

Нагрузка, соответствующая пределу текучести, характеризует прочность ленты при статическом нагружении.

Относительное удлинение под нагрузкой характеризует изменение длины ленты при заданной статической нагрузке.

Остаточное удлинение характеризует необратимые изменения длины ленты при заданной статической нагрузке.

Работа ударного разрыва характеризует прочность ленты при динамическом нагружении.

Остаточное удлинение после ударной нагрузки характерузует необратимые изменения длины ленты после динамического нагружения.

Адгезионная прочность характеризует прочность сцепления рабочего слоя с основой.

Абразивность характеризует степень износа лентой магнитных головок и других неподвижных деталей лентопротяжного механизма, с которыми соприкасается лента в процессе движения.

Теплостойкость и влагостойкость длины характеризуют изменение длины ленты при изменении температуры и влажности окружающего воздуха в заданных пределах.

Свойства современных магнитных лент. Основные свойства отечественных и некоторых зарубежных лент приведены в табл. 10—12. Измерение свойств производилось по методике, описанной в разделе «Измерения».

По совокупности свойств лучшими лентами являются: для студийных магнитофонов при записи со стандартным максимальным уровнем лента типа PER 525; для студийных магнитофонов при записи с увеличенным максимальным уровнем лента типа PER 555; для репортажных и бытовых магнитофонов лента типа XP—18X. Лучшей лентой отечественного производства является лента типа 6Р.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕНТ И МАГНИТОФИЛЬМОВ

Монтаж магнитофильмов может быть произведен путем перезаписи монтируемых магнитофильмов в требуемой последовательности или путем их разрезания и склейки. Достоинством первого способа является отсутствие склеек, недостатком — ухудшение качества записи. Зависимость некоторых качественных показателей от числа последовательно производимых перезаписей приведена на рис. 50.

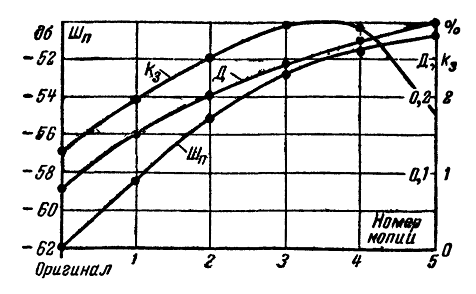


Рис. 50. Зависимость качественных показателей от числа последовательных перезаписей.

Тип ленты	Страна и фирма-							
	СССР		ГДР			Франция		
	ШХЗ		ORWO			Kodak—		
	2 (типовая)	6	CR50U6	CR35U6	CS35U6	T100	T101	P200
Толщина общая, *мк*	54	58	50	35	35	47	57	28
Толщина рабочего слоя, *мк*	13	16	15,5	14,5	10	10	18	9
Толщина основы, *мк*	38	32	34,5	20,5	25	37	39	19
Объемная концентрация, %	40	36	38	43	41	39	31	39
Стрела коробления, *мм*	0,10	0,14	0,02	0,06	0,09	0,02	0,04	0,04
Сабельность, *мм/м*	6	7	4	1	3	3	2	2
Остаточный магнитный поток, *нвб*	8,1	8	7,2	7,3	6	6,1	10,9	5,3
Намагниченность насыщения, *ка/м*	115	115	116	122	103	101	101	101
Остаточная намагниченность насыщения, *ка/м*	64,5	63,7	59	64,3	76,4	77	76,8	74,5
Коэрцитивная сила по намагниченности, *ка/мм*	23,9	17,3	16	16,1	18,5	21,4	21,3	20,7
Коэрцитивная сила по остаточной намагниченности, *ка/м*	28,4	22,3	21,5	20,8	20,5	22,8	22,8	22,4
Относительная начальная магнитная проницаемость	1,73	2,2	2	2,35	1,8	1,66	1,7	1,71
Относительная максимальная проницаемость	2,81	3,42	3,4	3,54	3,77	3,54	3,55	3,54
Максимальная крутизна кривой остаточного потока, *нвб/ка/м*	0,271	0,364	0,321	—	—	0,512	1,076	—
Максимальная крутизна кривой остаточного потока при квазиидеальном намагничивании, *нвб/ка/м*	0,54	1,05	0,73	—	—	2,04	3,6	—
Коэффициент прямоугольности	0,56	0,56	0,51	0,53	0,74	0,76	0,76	0,74
Коэффициент выпуклости	0,35	0,35	0,32	0,34	0,45	0,56	0,51	0,53
Ориентация максимальная, *дб*	0	0	0	0	9	12	11,5	10,5
Ориентация в поле насыщения, *дб*	0	0	0	0	5,5	5,5	5	4,5

Таблица 10

изготовитель											
		Англия	ФРГ					США			
Pathe		EMI	AGFA		BASF			3M			Sound-craft
P300	P400	77	PER525	PER555	LGS26	PES18	LR56	Scotch 111	Scotch 120	Scotch 190	XP-18X
19	13,5	54	52	55	26	17	57	47	56	34	18
5,5	4,5	14	12	18,5	9,5	5,5	19,5	10,5	19	9	6
13,5	9	40	40	36,5	16,5	11,5	37,5	36,5	37	25	12
32	—	33	47	32	26	39	38	42	35	37	41
0,06	—	0,07	0,02	0,08	0,06	0,09	0,07	0,07	0,08	0,01	—
—	—	3	1	2	2	1	1	5	2	6	—
3,5	—	6,8	7,2	12,8	5,2	—	11,9	5,7	10,8	6,8	5
104	—	91	110	122	96	—	104	101	105	124	136
81,3	—	61,5	75,5	88,5	69,3	—	78,3	69,1	72,7	96,4	106,3
21,3	—	18,3	22,8	20,7	24,3	—	23,6	20,3	19,5	19	20,3
22,7	—	20,3	25,7	22,8	26,8	—	26,4	22,7	21,3	20	21,7
1,66	—	1,71	1,89	1,94	1,4	—	1,75	1,76	1,82	1,84	1,94
3,59	—	3,27	3,3	3,92	2,95	—	3,26	3,31	3,62	4,55	4,62
—	—	0,565	0,445	0,934	—	—	0,802	0,335	0,835	—	—
—	—	1,92	1,25	3,83	—	—	2,35	1,32	3,11	—	—
0,78	—	0,68	0,69	0,73	0,72	—	0,75	0,69	0,7	0,78	0,78
0,53	—	0,47	0,42	0,47	0,47	—	0,49	0,43	0,45	0,54	0,52
13	—	9,5	6	9	15	6	13	9	12	13	12
5,5	—	3,5	3	4	5,5	3	5	4	5	5,5	5,5

Скорость, *см/сек*	3,81								
Тип ленты	2 (типовая)	6	CR50U6	T100	77	PER525	Scotch 111	T101	PER555
Относительная величина тока оптимального подмагничивания, *дб*	0	—3,5	—3	—4,5	—4	—3,5	—3,5	—3	—2,5
Относительная средняя чувствительность, *дб*	0	5,5	3	8,5	8,5	7,5	8,5	10,5	10
Относительная частотная характеристика, *дб*	0	7	3,5	8,5	2,5	10	6	4,5	3
Коэффициент 3-й гармоники, %	2,3	1,8	2,4	1,7	1,9	1,3	1,9	0,5	0,4
Относительный уровень шума размагниченной ленты, *дб*	—66	—67	—65	—64	—58	—67	—63	—64	—65
Относительный уровень шума паузы, *дб*	—63	—62	—61	—57	—57	—62	—57	—57	—58
Относительный уровень шума намагниченной ленты, *дб*	—41	—36	—36	—39	—37	—40	—40	—45	—47
Относительный уровень копирэффекта, *дб*	—50	—51	—55	—59	—58	—58	—54	—56	—57
Относительный уровень стирания, *дб*	—68	<—80							
Уровень записи при заданных нелинейных искажениях, *дб*:									
при k_3=3%	0,5	2,5	1,5	2,5	3	3,5	3	7,5	9
при k_3=5%	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 11

		9,53										
LR56	Scotch 120	2 (типовая)	6	CR35U6	CS35U6	Scotch 190	P200	LGS26	P300	PES18	XP-18X	P400
—1	—1,5	0	—3	—3	—5	—5	—4,5	—5	—4,5	—4,5	—5,5	—6,5
8,5	9	0	6	4,5	9	11	9	8,5	7,5	6,5	9	8,5
3	2	0	15	13	23	21	23	28	23	25	21	29
0,5	0,6	1,9	1,7	1,7	2	1	1,9	3	4,8	5,6	1,9	9,5
—65	—63	—55	—55	—55	—56	—53	—53	—52	—54	—54	—54	—55
—58	—58	—53	—53	—53	—56	—50	—51	—49	—52	—52	—51	—51
—42	—42	—36	—35	—35	—36	—36	—41	—40	—44	—41	—41	—37
—58	—51	—50	—53	—50	—46	—53	—53	—54	—55	—55	—	—
					—77	<—80						
8	6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	6	7,5	6,5	5	7	4,5	2,5	0	—0,5	3,5	—5,5

Таблица 12

Материал основы	ДЦ								ТЦ		ПВХ			ПЭ						
Тип ленты	2 (типовая)	6	CR50U6	Scotch 111	Scotch 120	CR35U6	CS35U6	Scotch 190	T100	T101	77	LR56	LGS26	PER525	PER555	P200	P300	PES18	XP-18X	P400
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, *н*	28	26	25	24	19	14	15	16	25	26	34	42	14	40	40	22	16	16	—	—
Относительное удлинение, %:																				
под нагрузкой 4 *н*	0,36	0,37	0,40	0,37	0,40	0,74	0,58	0,36	0,32	0,34	0,40	0,61	0,25	0,27	0,24	0,46	0,68	0,56	—	—
под нагрузкой 10 *н*	1,12	1,29	1,12	1,16	1,20	2,30	1,90	1,55	1,08	1,06	1,20	0,89	3,76	0,72	1,05	1,36	—	2,24	—	—
Остаточное удлинение, %:																				
под нагрузкой 4 *н*	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,08	0,04	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	—	—
под нагрузкой 10 *н*	0,06	0,10	0,06	0,03	0,06	0,21	0,18	0,05	0,11	0,08	0,07	0,08	0,63	0,04	0,05	0,06	0,16	0,17	—	—
Работа ударного разрыва, *дж*	0,58	0,48	0,55	0,63	0,44	0,34	0,29	0,26	0,53	0,48	—	1,91	0,50	4,09	4,40	7,57	—	1,83	—	—
Остаточное удлинение, после ударной нагрузки 0,15 *дж*, %	0,05	0,05	—	0,04	—	—	—	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Адгезионная прочность, *н*	30	26	27	29	—	15	18	—	20	—	—	—	—	—	30	—	20	—	—	—
Абразивность, *мк/м*	0,05	0,08	—	0,05	—	—	—	—	0,02	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Влагостойкость длины, %	0,77	—	—	0,93	0,79	—	—	0,76	—	0,18	0,03	0,02	0,02	—	—	—	—	—	—	—
Теплостойкость длины, %	0,22	—	—	0,19	0,17	—	—	0,17	—	0,10	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Приведенные результаты были получены при использовании двух магнитофонов с примерно одинаковыми параметрами [относительный уровень шума паузы — 62 *дб*, коэффициент 3-й гармоники 1,2—1,3%, коэффициент колебаний скорости ленты (*Д*) 0,07—0,11%]. Значительное ухудшение качества копий по сравнению с оригиналом ограничивает возможность использования способа перезаписи. Во всех случаях перезапись желательно производить с оригинала.

Соединение отрезков ленты может производиться внахлестку с помощью клея или в стык — липкой лентой. Состав клеев для разных материалов основ приведен в табл. 13. Склеиваемые отрезки ленты должны быть отрезаны под углом 35—45°. Сращивание липкой лентой в стык менее заметно на слух при воспроизведении, но если оно сделано недостаточно аккуратно, а также при плохом качестве липкой ленты может происходить замазывание сердечников головок липким слоем.

Таблица 13

Основы	Состав клеев	Объемные части
ДАЦ	Ацетон	50
	Этилацетат	25
	Уксусная кислота ледяная	25
ТАЦ	Хлороформ	75
	Этиленхлоргидрин	25
ПВХ	Циклогексанон	98
	Циклогексанол	2
ПЭ	Не склеивается	—

Склейка производится вручную или с помощью специальных приспособлений. В качестве простейшего приспособления может использоваться привернутая к магнитофону металлическая пластинка, в которой выфрезерован паз шириной $6{,}32^{+0{,}05}$ *мм*.

Уменьшение копирэффекта возможно тремя путями: улучшением свойств магнитных лент, применением способов, затрудняющих копирование и ослабляющих субъективное восприятие сигналов-копий, и снижением уровня уже образовавшихся сигналов-копий.

Усовершенствование магнитных лент, приводящее к ослаблению копирэффекта, заключается в уменьшении последействия. уменьшении толщины рабочего слоя ленты, снижения объемной концентрации магнитного порошка в рабочем слое и в увеличении толщины основы.

Есть основания предполагать, что для снижения последействия необходимо повысить химическую чистоту исходных материалов, используемых при изготовлении магнитного порошка и однородность его частиц, а также увеличить их размеры.

Уменьшение толщины рабочего слоя и объемной концентрации порошка позволяет ослабить копирэффект, однако при этом изменяются и другие электроакустические свойства ленты. Поэтому толщина рабочего слоя и объемная концентрация должны выбираться на основе компромисса между различными электроакустическими свойствами ленты с учетом ее назначения.

Утолщение основы позволяет ослабить копирэффект вследствие увеличения расстояния между витками ленты, однако это уменьшает количество информации на единицу объема ленты и повышает ее жесткость. Последнее увеличивает завал частотной характеристики из-за ухудшения контакта между лентой и сердечниками магнитных головок.

Затруднение копирования можно вызвать, увеличив расстояния между витками ленты путем помещения между ними прокладки при сматывании ленты в рулон в процессе записи. Прокладка из диацетилцеллюлозной пленки толщиной 85 *мк* ослабляет копирэффект на 2—3 *дб*.

Хорошие результаты дает магнитное экранирование витков ленты друг от друга. Прокладка даже из неотожженного пермаллоя толщиной 20 *мк*, помещенная между витками при сматывании ленты в рулон в процессе записи, снижает относительный уровень копирэффекта почти на 10 *дб*. Можно также нанести экранирующий магнитный слой на обратную сторону ленты. Общим недостатком экранирования является уменьшение объемной плотности записанной информации.

Копирование будет также затруднено, если уменьшить возбуждение ленты путем увеличения промежутка времени между воздействием на ленту возбуждающих полей (размагничивающего и подмагничивающего) и началом копирования. С этой целью ленту в процессе записи не сразу сматывают в рулон, а помещают в специальную кассету, где различные участки ленты мало соприкасаются друг с другом, или свободно укладывают ее в какой-либо ящик. Выдержка ленты с записью в размотанном состоянии ослабляет копирэффект, который потом возникает после намотки ленты в рулон. Еще лучшие результаты можно получить, если такую предварительную выдержку ленты производить при низкой температуре.

После прекращения действия поля копирования уровень сигналов-копий постепенно уменьшается. Размотав ленту с рулона перед воспроизведением и поместив ее на некоторое время в специальную кассету или в ящик, можно ослабить копирэффект.

Для уменьшения копирэффекта магнитофильмы следует хранить в помещении с пониженной температурой, свободном от воздействия внешних магнитных полей.

Ослабить субъективное восприятие сигналов-копий можно путем снижения скорости ленты при записи. В этом случае длина волны записи, соответствующая максимальному копирэффекту ($\lambda = 2\pi d_л$), будет находиться в области более низких частот, к которым человеческий слух менее чувствителен. С этой точки зрения запись следует вести на самой малой скорости, которая еще обеспечивает требуемые значения остальных качественных показателей.

Некоторое ослабление субъективного восприятия копирэффекта может быть также достигнуто при намотке ленты рабочим слоем наружу. В этом случае особенно неприятное и заметное для слуха опережающее «эхо» будет слабее, чем запаздывающее. Полезной оказывается и двух-, трехкратная перемотка ленты с записью перед

воспроизведением на сердечники разного диаметра. Наблюдаемое при этом ослабление копирэффекта объясняется тем, что хотя число сигналов-копий увеличивается, но каждый из них становится более «размытым» и не так отчетливо слышен. Кроме того, сказывается некоторое увеличение времени между прекращением процесса копирования и началом воспроизведения.

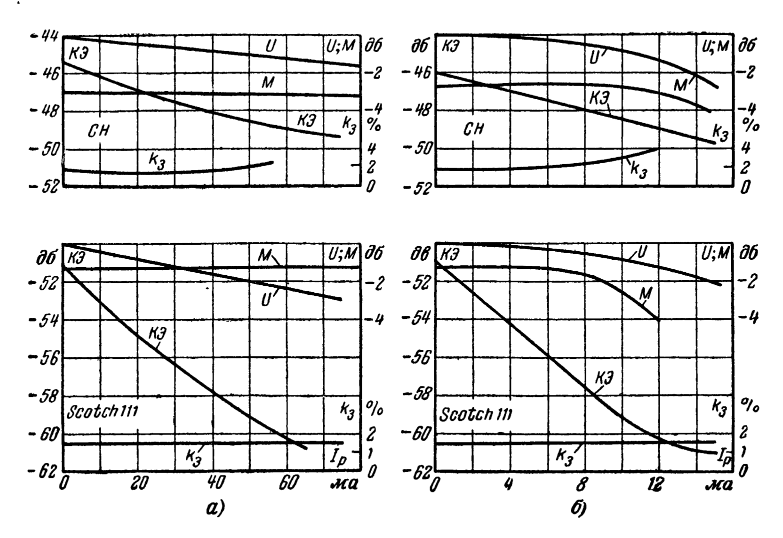


Рис. 51. Зависимость качественных показателей записи от размагничивающего тока.

а — размагничивание в соленоиде; *б* — размагничивание головкой.

Уменьшение уровня уже образовавшихся сигналов-копий. Записи, сделанные с высокочастотным подмагничиванием, труднее поддаются стиранию переменным магнитным полем и механическими воздействиями, чем записи без высокочастотного подмагничивания. Это может быть использовано для ослабления копирэффекта в магнитофильмах, записанных с высокочастотным подмагничиванием, так как процесс образования в них сигналов-копий происходит всегда без действия высокочастотного подмагничивания.

Размагничивающее поле должно быть выбрано таким, чтобы снижение уровня и искажение формы основного сигнала были незначительными. Что касается копирэффекта, то в ряде случаев он может быть снижен весьма заметно. Размагничивание производится с помощью соленоида или записывающей магнитной головки, питаемой ослабленным током подмагничивания.

На рис. 51 приведены зависимости уровня основного сигнала (U), уровня сигнала-копии ($КЭ$) гармонических k_3 и частотных M искажений от размагничивающего тока $I_р$ в головке и соленоиде для лент разных типов.

При размагничивании на 1 *дб* основного сигнала, записанного на ленте типа Scotch 111, уровень сигнала-копии понижается на 5 *дб*

при размагничивании соленоидом и на 8 *дб* при размагничивании головкой. При этом размагничивание соленоидом не ухудшает частотную характеристику, а размагничивание головкой вносит дополнительные частотные искажения.

Размагничивание записей на ленте типа СН дает намного худшие результаты: при уменьшении основного сигнала на 1 *дб* сигнал-копия уменьшается лишь на 2,5 *дб*, кроме того, возрастают нелинейные искажения.

Сигналы-копии можно также значительно (до 8 *дб*) ослабить механическим воздействием на магнитофильм, многократно перегибая ленту. Однако практически этот способ менее удобен, чем размагничивание.

Размагничивание магнитофильмов. Одним из достоинств магнитной записи является возможность многократного использования носителя записи. Ненужные магнитофильмы могут быть размагничены, а магнитная лента использована для записи новых магнитофильмов. Число повторных использований магнитной ленты принципиально ограничивается лишь ухудшением ее физико-механических свойств от времени и механическими повреждениями.

На практике, однако, возможность многократного использования магнитной ленты часто ограничивается трудностями размагничивания магнитофильмов. Для многократного использования ленты старая запись должна быть стерта не меньше чем на 75—80 *дб*. У лент, которым не свойственно образование магнитной текстуры, такое стирание может быть достигнуто применением ферритовой стирающей головки с двумя рабочими зазорами. Ширина каждого рабочего зазора около 100 *мк*. Расположение рабочих зазоров по дуге охвата головки лентой выбирается практически по лучшему результату стирания.

При использовании лент, которым свойственно образование текстуры (например, типа 2, СН, FR), размагничивание головкой недостаточно и необходимо применять специальные размагничивающие устройства. Эти же устройства должны применяться в тех случаях, когда надо быстро размагнитить весь магнитофильм или когда в магнитофоне отсутствует стирающая головка.

Типы размагничивающих устройств. Размагничивающие устройства, в основу которых положен принцип воздействия на ленту плавноубывающим переменным магнитным полем, можно условно классифицировать по типу источника поля (соленоид, электромагнит); по способу уменьшения поля (удаление рулона ленты из поля, уменьшение силы размагничивающего тока, разряд конденсатора на соленоид); по степени автоматизации (не автоматизированные, полуавтоматизированные и полностью автоматизированные).

Если предполагается размагничивать магнитофильмы, хранившиеся длительное время и изготовленные на лентах, которым свойственно образование текстуры, то целесообразно применять устройства, в которых в качестве источника размагничивающего поля используется электромагнит, а уменьшение поля достигается плавным удалением вращающегося рулона ленты от электромагнита.

Если предполагается размагничивать магнитофильмы, изготовленные на лентах, которым не свойственно образование текстуры (тип 6 и современные зарубежные ленты), то целесообразно применять устройства, в которых в качестве источника поля используется соленоид, а уменьшение поля достигается затухающим колебательным разрядом конденсатора.

Недостатком устройств первого типа является сравнительная сложность механизма, недостатком устройств второго типа — необходимость двукратного размагничивания в двух взаимно перпендикулярных положениях рулона. Последний недостаток может быть устранен, если располагать рулон в соленоиде так, чтобы их оси совпадали. В этом случае сравнительно просто может быть осуществлена полная автоматизация устройства, однако возникают дополнительные трудности в создании соленоида с нужными параметрами.

На рис. 52 приведен внешний вид профессионального полуавтоматического размагничивающего устройства типа РУ-2. Рулон ленты помещают в кассету и опускают в отверстие верхнего кожуха. Процесс размагничивания происходит автоматически после нажатия пусковой кнопки. Рулон ленты, вращаясь плавно опускается вниз, а затем поднимается вверх, проходя через воздушный зазор электромагнита последовательно всеми своими участками После окончания процесса размагничивания устройство автоматически выключается.

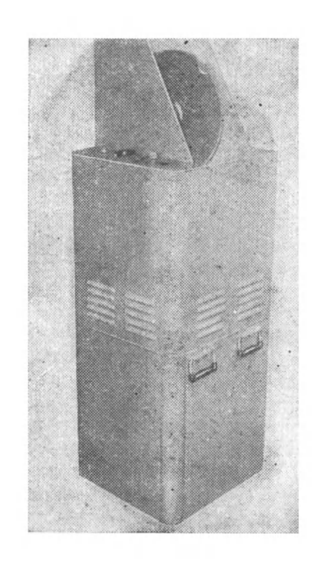


Рис. 52. Профессиональное размагничивающее устройство.

Питание устройства производится от электросети переменного тока напряжением 220 *в*. Параллельно обмотке электромагнита включен конденсатор большой емкости, чтобы уменьшить потребляемый ток и повысить cos φ.

Большая напряженность размагничивающего поля (960 *ка/м*) и плавность его уменьшения (0,5—1% за период) обеспечивают высококачественное размагничивание магнитофильмов в данном устройстве.

В любительских условиях размагничивание при небольших рулонах ленты, может производиться специальными ручными электромагнитами. [1]

Возможность полного уничтожения текстуры записи. Наиболее эффективным способом уничтожения текстуры записи и устранения тем самым возможности ее восстановления является нагрев магнитофильма до точки Кюри, однако высокое значение температуры Кюри у порошков, применяемых в магнитных лентах, не позволяет практически использовать этот способ.

Если размагнитить магнитофильм плавноубывающим переменным полем, а затем подвергнуть нагреву одновременно с повторным размагничиванием или перед ним, то уничтожение текстуры может быть достигнуто при значительно более низких температурах. Осо-

---

[1] См, например, Радиолюбительский справочник, МРБ вып. 600, 1966. стр. 200.

бенно хорошие результаты получаются в первом случае, что, очевидно, вызывается уменьшением коэрцитивной силы порошка при нагреве. Если размагничивающее поле достаточно велико, то даже при нагреве между первым и вторым размагничиванием до 100° С наблюдается полное уничтожение текстуры.

Хранение лент и магнитофильмов. При бережном отношении и соблюдении правил хранения ленты магнитофильмы могут сохраняться в течение длительного времени. Ухудшение физико-механических и электроакустических свойств лент происходит из-за изменений свойств основы. Магнитные свойства лент даже при длительном хранении практически не изменяются. Можно считать, что наилучшей сохранностью отличаются ленты и магнитофильмы на полиэтилентерефталатной основе.

Правила хранения лент. Ленты должны храниться в помещении с кондиционированным воздухом при температуре 20±5° С и относительной влажностью 60±5%, воздух должен быть свободным от пыли; обслуживающий персонал перед входом в хранилище должен снимать верхнюю одежду, переодевать обувь и надевать халаты; в хранилище не должны проникать прямые солнечные лучи; расстояние стеллажей от стен должно составлять не менее 0,7 *м*, а между стеллажами — не менее 1,2 *м*, полки стеллажей должны быть решетчатыми; ленты, намотанные на сердечники или катушки, должны быть упакованы в полиэтиленовые мешки и коробки из глянцевого картона, при намотке ленты на сердечники последние должны закрепляться в центре коробок; коробки должны располагаться на стеллажах в вертикальном положении. Между каждыми 20 коробками должны оставаться промежутки длиною 100 *мм*; высота выступающих витков в рулоне ленты не должна превышать 50 *мк*.

Правила хранения магнитофильмов. Магнитофильмы должны храниться в тех же условиях, что и ленты за исключением температуры окружающего воздуха, которая снижается до 15±5° С. Перемотка и упаковка магнитофильмов должна производиться в том же помещении. Дополнительно должны соблюдаться следующие условия: стеллажи должны быть изготовлены из неферромагнитного материала, напряженность паразитных магнитных полей в помещении не должна превышать 400 *а/м*. После записи или использования для воспроизведения магнитофильмы желательно передавать в хранилище в неперемотанном виде; перемотка магнитофильмов должна производиться в специальном помещении хранилища с условиями, соответствующими условиям хранения магнитофильмов; натяжение ленты при перемотке не должно превышать 1,5 *н* и должно автоматически регулироваться так, чтобы давление витков ленты друг на друга было одинаковым по всему рулону; перед перемоткой магнитофильмы должны быть очищены от пыли и частиц рабочего слоя и выдержаны в хранилище в течение 24 *ч*.

Правила хранения лент и магнитофильмов в домашних условиях.

При хранении лент и магнитофильмов в домашних условиях необходимо оберегать их от пыли; желательно укладывать катушки с лентами и магнитофильмами в полиэтиленовые мешки и картонные коробки; не подвергать воздействию прямых солнечных лучей; располагать вдали от отопительных приборов и источников магнитных полей; при чрезмерной сухости воздуха увлажнять его, устанавливая наполненные водой сосуды с большой открытой поверхностью; намотку производить при нормальном натяжении; следить, чтобы

высота выступающих из рулона витков ленты была минимальна. Коробки устанавливать в вертикальном положении.

ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение размеров и формы лент. Перед измерениями образцы лент выдерживаются не менее 4 *ч* при температуре окружающего воздуха 20±3° С и относительной влажности 60±5%.

Измерение ширины производится с помощью координатного микроскопа с погрешностью отсчета не более 5 *мк* на образцах зажатых между двумя зеркальными стеклами.

Измерение толщины производится с помощью контактного прибора с погрешностью не более 5% от измеряемой величины. Усилие прижима должно составлять $2^{-0,2}$ *н.* диаметр измерительной поверхности — не менее 2 *мм.*

Измерение сабельности производится на отрезке ленты, свободно уложенном между верхней и нижней пластинами приспособления ИС-1. К вогнутой стороне ленты подводят край линейки так, чтобы расстояние между точками касания линейки с концами ленты составляло 1 *м.* За результат измерения принимают наибольшее расстояние в миллиметрах между краем ленты и линейки, вычисленное как среднее арифметическое из пяти измерений.

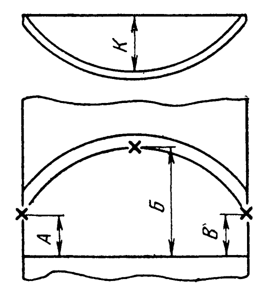


Рис. 53. К измерению коробления.

Измерение коробления производится с помощью двойного микроскопа МИС-11. Отрезок ленты укрепляется под тубусом микроскопа в горизонтальном положении. Натяжение ленты должно составлять 0,2±0,02 *н.* Изображение щели микроскопа фокусируют на поверхность ленты и определяют стрелу коробления *К* путем измерения положения трех точек по ширине ленты (рис. 53)

$$K = Б - \frac{A + B}{2}.$$

Измерение магнитных свойств лент и исходных порошков производится с помощью баллистической установки, например, типа БУ-3 завода «Точэлектроприбор». Дополнительно необходимо изготовить соленоид с водяным охлаждением. Максимальная напряженность поля должна составлять 150 *ка/м.* Если предполагается измерять температурную зависимость магнитных свойств, то необходимо также изготовить специальные вставки (рис. 54).

Вставка, изображенная на рис. 54, *а*, предназначена для измерений при температурах от комнатной до +700° С. Измеряемый образец, расположенный в пробирке, помещается в нагреватель с бифилярной обмоткой. Измерительная катушка отделена от нагревателя защитной рубашкой с водяным охлаждением. Для измерения температуры использована термопара, горячий спай которой расположен у середины образца.

Вставка, изображенная на рис. 54, *б*, предназначена для измерений при температурах от комнатной до —130° С. Измеряемый образец, расположенный в пробирке, помещается в малый сосуд Дьюара, на внутренней стенке которого расположен нагреватель с бифилярной обмоткой. Измерительная катушка расположена поверх

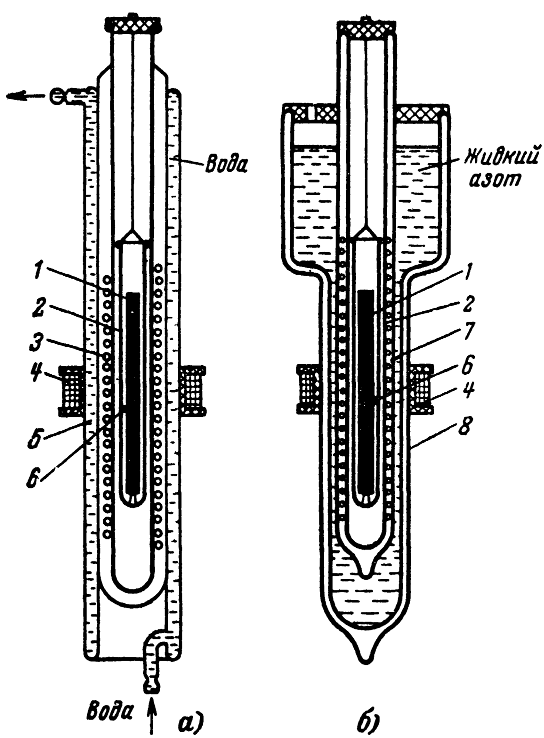


Рис. 54. Вставки для измерения температурной зависимости магнитных свойств лент.

а — для высоких температур; *б* — для низких температур. *1* — измеряемый образец; *2*—пробирка; *3* — нагреватель; *4* — измерительная катушка; *5* — охлаждающая рубашка; *6*—термопара; *7* — внутренний сосуд Дьюара с нагревателем; *8* — наружный сосуд Дьюара.

наружного сосуда Дьюара, заполняемого жидким азотом. При выключенном нагревателе температура составляет, примерно, —130° С. Увеличивая ток через нагреватель, температуру можно плавно повысить до 20° С.

Измерительная катушка каждой вставки состоит из двух концентрично расположенных обмоток — измерительной и компенсационной.

Намагничивание образцов производится в поле соленоида. Максимальная напряженность поля должна обеспечивать достижение технического насыщения $(H_s \geqslant 5H_{cJ})$. Перед измерением образцы размагничивают плавно убывающим переменным полем.

Образцы для измерений изготавливаются в виде отрезков магнитных лент, сложенных в пакеты, или стеклянных трубок, набитых магнитным порошком. Каждый пакет должен быть зажат между двумя гетинаксовыми щечками толщиной 0,5—1 *мм* и оклеен бумагой. Сечение образцов выбирается исходя из чувствительности баллистического гальванометра и числа витков измерительной катушки. Практически достаточно иметь 20—100 отрезков, в зависимости от измеряемого параметра и толщины рабочего слоя ленты. Внутренний диаметр стеклянных трубок должен составлять около 3 *мм*.

Длину образца выбирают так, чтобы исключить влияние внешнего размагничивающего фактора и обеспечить полное сцепление магнитного потока образца с витками измерительной катушки. Эти условия удовлетворяются при длине 100 *мм*.

Необходимая для расчетов магнитной индукции и намагниченности толщина рабочего слоя может быть определена как разность между общей толщиной ленты $d_л$ и толщиной основы $d_о$

$$d_{р.с} = d_л - d_о.$$

Для измерения толщины основы следует смыть соответствующим растворителем рабочий слой. У некоторых лент между рабочим слоем и основой нанесен дополнительный немагнитный слой для улучшения адгезии. Растворитель не должен на него влиять. Измерение общей толщины ленты и основы производят оптиметром или индикатором с ценой деления 1 *мк*. Диаметр наконечника должен быть больше 2 *мм*. Следует отметить, что измерение толщины рабочего слоя не может быть выполнено с достаточной точностью особенно при лентах с тонким или неравномерным по толщине рабочим слоем. Этим и определяется в основном точность измерения магнитных свойств лент.

При изготовлении образцов порошка набивку последнего в стеклянные трубки необходимо производить по возможности более равномерно.

Для измерения степени ориентации магнитных частиц в ленте образцы должны изготовляться путем наклейки отрезков лент на липкий пластырь размером 100 × 100 *мм*. Длина отрезков равна 100 *мм*. Общая ширина образца равна также 100 *мм*. Зазоры между отрезками лент необходимо делать возможно меньшими. Для измерения магнитных свойств в направлении длины ленты образец свертывают в трубку так, чтобы ее ось совпадала с этим направлением. Для измерения свойств в направлении ширины ленты образец свертывают в перпендикулярном направлении.

После установления тока, соответствующего каждой измеряемой точке кривой намагничивания или петли гистерезиса, должна производиться магнитная подготовка путем пятикратного переключения направления тока для того, чтобы получить магнитное состояние, соответствующее замкнутой петле гистерезиса.

Измерение электроакустических свойств лент производится на стенде, состоящем из магнитофона МЭЗ-62 и комплекса измерительных приборов. Блок-схема измерительного стенда приведена на рис. 55.

Магнитофон должен быть переделан с учетом следующих требований: а) предусмотреть возможность подачи тока записи и тока высокочастотного подмагничивания от отдельных генераторов (на блок-схеме они не показаны) непосредственно в записывающую головку, минуя усилитель записи, а также возможность подачи постоянного тока в головку записи и изменения его направления; б) предусмотреть возможность плавной регулировки и измерения токов записи, высокочастотного подмагничивания и стирания; съемный узел магнитных головок должен быть оборудован приспособлением для измерения угла наклона рабочих зазоров головок записи и воспроизведения.

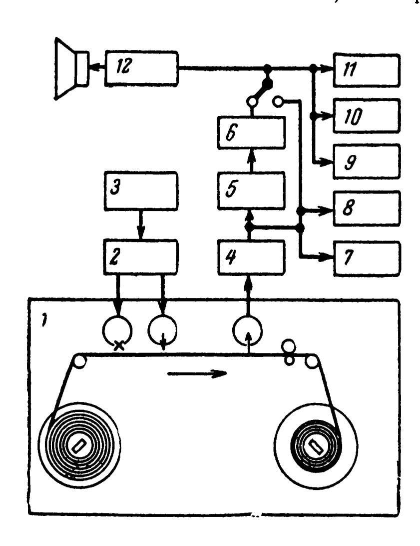


Рис. 55. Блок-схема измерительного стенда.

1 — лентопротяжный механизм; *2*—усилитель записи и генератор высокой частоты; *3*—звуковой генератор; *4*—усилитель воспроизведения; *5* — полосовой фильтр 400 *гц*; *6* — оконечный усилитель; *7* — измеритель напряжения шумов; *8* — селективный электронный вольтметр; *9* — электронный вольтметр; *10* — электронный осциллограф; *11*—самопишущий регистратор уровня; *12*—оконечный усилитель громкоговорителя.

Для измерения электроакустических свойств коротких образцов ленты, склеенных в кольца, следует установить на плате лентопротяжного механизма дополнительные ролики и приспособления для регулировки и измерения натяжения ленты. Длина ленты в кольце должна составлять около 2 *м*.

Измерения производят при температуре окружающего воздуха 20±5° С и относительной влажности 60±5%, кроме случаев, оговоренных особо.

Измерение лент общей толщиной 55 *мк* производят при скорости 38,1 *см/сек* и натяжении ленты 1±0,2 *н*. За максимальный уровень записи принимают 320 *нвб/м* при частоте 400 *гц*. Измерение лент толщиной 37 *мк* и менее производят при скорости 9,53 *см/сек* и натяжении ленты 0,5±0,1 *н*. За максимальный уровень записи принимают 256 *нвб/м* при частоте 400 *гц*. Частота тока подмагничивания должна составлять 120±±4 *кгц*, частота тока стирания 60±6 *кгц*.

Измерение относительной величины тока оптимального подмагничивания, средней относительной чувствительности и относительной частотной характеристики производится путем сравнения испытуемой ленты с типовой, изготавливаемой по техническим условиям СТУ79 № 220X62.

Основные данные магнитных головок, используемых при измерении, приведены в табл. 14.

Выбор тока подмагничивания производится в зависимости от цели измерений. Если проверяется качество промышленной продукции, то при скорости 38,1 *см/сек* ток подмагничивания выбирается

Таблица 14

Виды магнитных головок	Скорость движения ленты, *см/сек*	Ширина рабочего зазора, *мк*		Ширина дополнительного зазора, *мк*	Радиус рабочей поверхности, *мм*	Длина дуги контакта с лентой, *мм*
		эффективная	измеренная под микроскопом			
Стирающая	38,1 и 9,53	—	Два зазора шириной 100±5 каждый	—	11	4±0,5
Записывающая	38,1 и 9,53	—	20±1	100±5	11	2,5±0,5
Воспроизводящая	38,1 9,53	10±1 4±0,5	— —	— —	11 11	2,5±0,5 2,5±0,5

в 1,2 раза больше оптимального для сигнала частотой 400 *гц*; в случае измерения при скорости 9,53 *см/сек* ток подмагничивания выбирается оптимальным для сигнала частотой 1 000 *гц*. Если же цель измерений состоит в определении свойств опытных образцов лент, то целесообразно сначала измерить зависимость чувствительности, частотной характеристики, нелинейных искажений и шума намагниченной ленты от тока подмагничивания и выбрать его таким, чтобы эти параметры ленты оптимально сочетались.

Измерение относительной величины тока оптимального подмагничивания ($I_{опт}$). Определяют оптимальный ток для испытуемой и типовой лент. Ток записи должен быть на 20 *дб* меньше тока, соответствующего максимальному уровню записи на типовой ленте. За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение оптимального тока испытуемой ленты ($I_{опт.и}$) к оптимальному току типовой ленты ($I_{опт.т}$)

$$\Delta I_{опт} = 20 \lg \frac{I_{опт.и}}{I_{опт.т}}.$$

Измерение средней относительной чувствительности $Ч_{ср}$. На испытуемой и типовой лентах записывают сигнал частотой 400 *гц* при одинаковом токе записи и при токе подмагничивания, оптимальном для каждой ленты. Ток записи при частоте 400 *гц* выбирается на 20 *дб* меньше тока, соответствующего максимальному уровню записи на типовой ленте.

При воспроизведении обеих записей измеряют напряжения на выходе усилителя воспроизведения с помощью самопищущего регистратора уровня. Скорость движения пера должна быть 200 *мм/сек*, нижняя граничная частота — 80 *гц*, скорость бумаги — 0,1 *мм/сек*. При измерении должен использоваться потенциометр 10 *дб*. За результат измерения принимают выраженную в децибелах

разность средних уровней выходных напряжений усилителя воспроизведения при проигрывании испытуемой $U_и$ и типовой $U_т$ лент,

$$U_{ср}=20\lg\frac{U_и}{U_т}.$$

Измерение неоднородности чувствительности НЧ производят по уровнеграмме, полученной ранее при измерении средней чувствительности. За результат принимают выраженное в децибелах максимальное отклонение чувствительности от ее среднего значения за весь период измерения. Последний соответствует обычно полному рулону ленты.

Измерение относительного завала частотной характеристики М. На испытуемой и типовой лентах записывают сигналы частотой 400 и 16 000 *гц* для скорости 38,1 *см/сек* и 400 и 10 000 *гц* для скорости 9,53 *см/сек*. Ток записи для каждой из двух частот должен быть одинаковым и равным току, при котором уровень записи сигнала с частотой 400 *гц* на типовой ленте будет на 20 *дб* ниже максимального.

За результат измерения принимают разность между выраженным в децибелах отношением выходного напряжения усилителя воспроизведения на верхней граничной частоте ($U_{в.г.ч}$) к выходному напряжению на опорной частоте 400 *гц* ($U_{о.ч}$) для испытуемой ленты и таким же отношением для типовой ленты

$$M=20\lg\frac{U_{в.г.ч.и}}{U_{о.ч.и}}-20\lg\frac{U_{в.г.ч.т}}{U_{о.ч.т}}.$$

Измерение коэффициента третьей гармоники k_3. На испытуемой ленте записывают сигнал частотой 400 *гц* с максимальным уровнем. При воспроизведении на выходе магнитофона с помощью электронного вольтметра с фильтром измеряют общее напряжение и напряжение третьей гармоники. За результат измерения принимают выраженное в процентах отношение напряжения третьей гармоники (U_3) к общему выходному напряжению ($U_{м.у}$)

$$k_3=\frac{U_3}{U_{м.у}}100,\ \%.$$

Измерение относительного уровня шума размагниченной ленты $Ш_р$. Испытуемую ленту размагничивают с помощью размагничивающего устройства, например типа РУ-2, и измеряют во время ее проигрывания напряжение ($U_р$) на выходе усилителя воспроизведения. Измерение производят прибором квазипиковых значений с фильтром субъективного восприятия, т. е. фильтром, частотная характеристика которого подобна частотной характеристике слуха.

За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение напряжения $U_р$ к выходному напряжению $U_{м.у}$, соответствующему максимальному уровню записи, которое определяется при проигрывании измерительной ленты

$$Ш_р=20\lg\frac{U_р}{U_{м.у}}.$$

Измерение относительного уровня шума паузы $Ш_п$. Испытуемую ленту размагничивают с помощью размагничивающего устройства, устанавливают на магнитофон и измеряют напряжение $U_п$ на выходе усилителя воспроизведения при работе в режиме «Запись» и

короткозамкнутом входе усилителя записи. Измерение производится тем же измерителем шумов с фильтром субъективного восприятия. За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение напряжения $U_п$ к напряжению, соответствующему максимальному уровню записи,

$$Ш_п = 20 \lg \frac{U_п}{U_{м.у}}.$$

Измерение относительного уровня шума намагниченной ленты $Ш_н$. На испытуемой ленте записывают сигнал частотой 400 *гц* с максимальным уровнем и определяют соответствующее ему эффективное значение тока записи; затем, не выключая тока подмагничивания, производят запись с постоянным током в записывающей головке. Значение постоянного тока должно равняться найденному эффективному значению переменного тока записи. При воспроизведении второй записи измеряют напряжение $U_н$ на выходе усилителя воспроизведения измерителем шумов без фильтра субъективного восприятия.

Отсчет показаний прибора должен производиться по максимальному отклонению стрелки. За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение напряжения $U_н$ к напряжению, соответствующему максимальному уровню записи $U_{м.у}$,

$$Ш_н = 20 \lg \frac{U_н}{U_{м.у}}.$$

Измерение относительного уровня копирэффекта. Для измерения на правый диск лентопротяжного механизма устанавливают специальный сердечник диаметром 250 *мм* для скорости 38,1 *см/сек* и 100 *мм* для скорости 9,53 *см/сек*. На испытуемой ленте производят запись паузы, наматывая на правый сердечник семь витков ленты, затем включают ток записи, соответствующий максимальному уровню, и производят запись сигнала частотой 400 *гц* на участке ленты, длиной приблизительно равной $^3/_4$ витка. Далее, не выключая токов стирания и подмагничивания, выключают ток записи и наматывают еще семь витков ленты. Таких циклов записи делают три.

После 24 *ч* копирования левый и правый сердечники меняют местами, предварительно повернув их на 180° (перемотку производить нельзя), и воспроизводят сделанную запись через полосовой фильтр. При воспроизведении записывают напряжение на выходе усилителя воспроизведения с помощью самопишущего регистратора уровня. Скорость движения пера должна быть 200 *мм/сек*, нижняя граничная частота — 80 *гц*, скорость бумаги выбирается равной 10 *мм/сек* для скорости ленты 38,1 *см/сек* и 3 *мм/сек* для скорости ленты 9,53 *см/сек* При измерении в самописце используется потенциометр 75 *дб*.

Измерения производят при температуре окружающего воздуха 20° С. Если температура отличается от названной, то в результат измерения должна быть внесена поправка (см. стр. 42).

За результат каждого измерения принимают выраженное в децибелах отношение уровня максимального сигнала-копии ($U_{с.к}$) к уровню основного сигнала ($U_{о.с}$)

$$КЭ = 20 \lg \frac{U_{с.к}}{U_{о.с}},$$

После этого вычисляют среднее арифметическое из трех измерений, соответствующих трем циклам произведенных записей.

Измерение относительного уровня стирания С. На испытуемой ленте записывают сигнал с частотой 400 *гц*. Уровень записи должен быть максимальным. После 24 *ч* выдержки запись стирают магнитной головкой при токе 100±5 *ма*. При последующем воспроизведении измеряют напряжение $U_{с.з}$ на выходе усилителя воспроизведения электронным вольтметром с полосовым фильтром, настроенным на частоту 400 *гц*.

За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение напряжения $U_{с.з}$ к напряжению $U_{м.у}$, соответствующему максимальному уровню записи и измеренному тем же прибором,

$$C = 20 \lg \frac{U_{с.з}}{U_{м.у}}.$$

Измерение уровня записи при заданных нелинейных искажениях УЗ. На испытуемой ленте записывают сигнал частотой 400 *гц*. Уровень записи выбирают так, чтобы коэффициент третьей гармоники, измеренный на выходе магнитофона, равнялся 3% при скорости 38,1 *см/сек* и 5% при скорости 9,53 *см/сек*. За результат измерения принимают выраженное в децибелах отношение выходного напряжения $U_{з.и}$ при заданных нелинейных искажениях к выходному напряжению $U_{м.у}$, соответствующему максимальному уровню записи,

$$УЗ = 20 \lg \frac{U_{з.и}}{U_{м.у}}.$$

Измерения физико-механических свойств лент. Перед измерением образцы лент должны быть выдержаны не менее 4 *ч* при температуре окружающего воздуха 20±3° С и относительной влажности 60±5%.

Измерение нагрузки, соответствующей пределу текучести (*P*) производят на отрезке ленты, подвергнутом продольному растяжению на разрывной машине РММ-30А с постоянной скоростью нагружения 100 *мм/мин*. Рабочая длина образца должна составлять 100 *мм*, начальное натяжение 0,3±0,03 *н*. Нагрузку определяют в точке перегиба кривой растяжения. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение нагрузки, вычисленное при измерении 10 образцов.

Измерение относительного удлинения производится на образце, подвергнутом растяжению на разрывной машине РММ-30А с постоянной скоростью нагружения 45±5 *мм/мин*. Расчетная длина образца должна составлять 100 *мм*, начальное натяжение 0,2± ±0,02 *н*.

Полное относительное удлинение ($\delta_п$) определяют через 1 *мин* после нагружения, а остаточное ($\delta_{ост}$) через 1 *мин* после уменьшения нагружения до начальной величины.

За результат измерения принимают выраженное в процентах отношение полного $\Delta l_п$ или остаточного $\Delta l_{ост}$ приращения длины образца к расчетной длине l_0, вычисленное как среднее арифметическое из 10 измерений,

$$\delta_п = \frac{\Delta l_п}{l_0} 100 \ \%; \quad \delta_{ост} = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100 \ \%.$$

Измерение работы ударного разрыва ($A_р$) производят на образце ленты, подвергнутом ударной нагрузке в продольном направлении с помощью маятникового копра. Рабочая длина образца должна составлять 100 *мм*, начальное натяжение $2 \pm 0{,}02$ *н*, запас энергии маятника должен составлять 1 *дж* для лент на обычной основе и 10 *дж* для лент на основе с повышенной прочностью. Удару должен подвергаться не сам образец, а один из зажимов.

Работу ударного разрыва, выражаемую в джоулях, вычисляют по формуле

$$A_р = PL\left[(\cos\theta - \cos\alpha) - (\cos\beta - \cos\alpha)\frac{\alpha + \theta}{\alpha + \beta}\right],$$

где PL — запас энергии маятника, *дж* (P — вес, *н*, L — расстояние от оси вращения до центра тяжести, *м*);
α — угол падения маятника, *град*;
β — угол взлета маятника при отсутствии образца, *град*;
θ — угол взлета маятника после разрушения образца, *град*.

За результат измерения принимается среднее арифметическое значение работы ударного разрыва, вычисленное при измерении 10 образцов.

Образцы, разорвавшиеся в зажиме или у его края (до 5 *мм*), не учитываются при расчете.

Измерение остаточного удлинения после ударной нагрузки ($\delta_{ост.у}$) производится на образце ленты, подвергнутом ударной нагрузке в продольном направлении с помощью маятникового копра с запасом энергии 1 *дж*. Расчетная длина образца должна быть 100 *мм*, начальное натяжение $2 \pm 0{,}02$ *н*. Угол сброса маятника должен соответствовать нагрузке 0,15 *дж* для лент толщиной 37 *мк* и более и 0,05 *дж* для лент толщиной 27 *мк* и менее. Удлинение определяют через 1 *мин* после нагружения.

За результат измерения принимают выраженное в процентах отношение остаточного приращения длины образца ($\Delta l_{ост}$) к расчетной длине образца (l_0), вычисленное как среднее арифметическое из 5 измерений,

$$\delta_{ост.у} = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} 100 \ \%.$$

Измерение адгезионной прочности АП, производят в процессе растяжения образца в тех же условиях, что и при измерении нагрузки, соответствующей пределу текучести. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение нагрузки, при которой появляются первые признаки разрушения рабочего слоя, вычисленное при измерении трех образцов.

Измерение абразивности А производится на испытуемой ленте, движущейся в лентопротяжном механизме и истирающей торец металлической пластинки. Натяжение ленты должно составлять $2{,}5 \pm 0{,}1$ *н*, скорость движения 19 *см/сек*. Пластинка изготавливается из алюминия марки AIM ГОСТ 354-55 толщиной 0,5 *мм*.

За результат измерения принимают отношение изменения высоты (Δh) пластинки в микронах к длине (l) пропущенной ленты в метрах

$$A = \frac{\Delta h}{l}.$$

Измерение теплостойкости длины (*ТС*) производят путем определения изменения длины отрезка ленты при увеличении температуры с 20 до 50° С. Выдержка при крайних температурах должна составлять 15 *мин*, начальное натяжение образца должно быть равно 0,5±0,05 *н*.

За результат измерения принимают выраженное в процентах отношение изменения длины образца (Δl) к длине образца при 20° С (l_{20}), вычисленное как среднее арифметическое при измерении двух образцов,

$$TC = \frac{\Delta l}{l_{20}} 100 \ \%.$$

Измерение влагостойкости длины (*ВС*) производят путем определения длины образца при относительной влажности окружающего воздуха 55 и 90%. Длина образца должна быть не менее 0,5 *м*, начальное натяжение 0,5±0,05 *н*. Выдержка при влажности 55% должна составлять 30 *мин* при влажности 90% — 60 *мин*.

За результат измерения принимают выраженное в процентах отношение изменения длины образца (Δl) к длине образца при влажности 55% (l_{55}), вычисленное как среднее арифметическое при измерении двух образцов,

$$BC = \frac{\Delta l}{l_{55}} 100 \ \%.$$

Единицы измерений магнитных величин по международной системе единиц (СИ)

Величина	Обозначение	Единица измерения	Сокращенные обозначения: русские	Сокращенные обозначения: латинские	Определяющее уравнение	Размер единицы	Сокращенное обозначение в системе СГСМ	Переводной множитель в единицы системы СИ из системы СГСМ
Магнитодвижущая сила	F, θ	ампер	*а*	*A*	$F = nI$	1*а*	*гб*	$10/4\pi$
Напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	*а/м*	*A/m*	$H = \frac{I}{2\pi r}$	(1 *а*) : (1 *м*)	*э*	$10^3/4\pi$
Магнитный поток	Φ	вебер	*вб*	*Wb*	$d\Phi = -Edt$	(1 *в*) · (1 *сек*)	*мкс*	10^{-8}
Магнитная индукция	B	тесла	*тл*	*T*	$B = \frac{\Phi}{S}$	(1 *вб*) : (1 *м*²)	*гс*	10^{-4}
Намагниченность	J, M	ампер на метр	*а/м*	*A/m*	$J = \frac{P_м}{V}$	(1 *а·м*²) : (1 *м*³)	*гс*	10^3
Абсолютная магнитная проницаемость	$\mu_а$	генри на метр	*гн/м*	*H/m*	$\mu_а = \mu \cdot \mu_0$	(1 *тл*) : $\left(1 \frac{а}{м}\right)$	*гс/э*	$4\pi \cdot 10^{-7}$

Величина	Обозначение	Единица измерения	Сокращенные обозначения		Определяющее уравнение	Размер единицы	Сокращенное обозначение в системе СГСМ	Переводной множитель в единицы системы СИ из системы СГСМ
			русские	латинские				
Магнитная постоянная	μ_0	генри на метр	*гн/м*	*H/m*	$\mu_0 = \frac{\mu_a}{\mu}$	$(1\ тл) : \left(1 \frac{а}{м}\right)$	*гс/э*	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Относительная магнитная проницаемость	μ	—	Безразмерная		$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}$	$\left(1 \frac{гн}{м}\right) : \left(1 \frac{гн}{м}\right)$	—	1
Магнитная восприимчивость	$k_м$	—	Безразмерная		$k_м = \frac{J}{H}$	$\left(1 \frac{а}{м}\right) : \left(1 \frac{а}{м}\right)$	—	4π
Магнитный момент	$P_м$	ампер-метр в квадрате	*а·м²*	*A·m²*	$P_м = I \cdot S$	$(1\ а) \cdot (1\ м^2)$	*гс/см³*	10^{-3}
Остаточная намагниченность	J_r	ампер на метр	*а/м*	*A/m*	$J_r = \frac{Br}{\mu_0}$	$(1\ а \cdot м^2) : (1\ м^3)$	*гс*	10^3
Коэффициент размагничивания	N	—	Безразмерный		$N = \frac{H}{J}$	$\left(1 \frac{а}{м}\right) : \left(1 \frac{а}{м}\right)$	*э/гс*	$1/4\pi$

Цена 22 коп.